

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Institut dopravy**

**Optimalizace časových poloh spojů při svozu žáků  
do škol**

**Temporal Position in the Collection of Scholars to  
Schools Optimisation**

**Student:**

**Bc. Michaela Byrtusová**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Ing. Dušan Teichmann, Ph.D**

**Ostrava 2011**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michaela Byrtusová**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301 T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 30 Technologie dopravy  
Téma: **Optimalizace časových poloh spojů při svozu žáků do škol**  
**Temporal Position in the Collection of Scholars to Schools Optimisation**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Na zadaném území prověřit možnost redukce počtu vozidel potřebných k zajištění svozu žáků do škol.

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Obecná charakteristika problému.
3. Teoretická východiska řešení - návrh matematického modelu úlohy.
4. Příprava podkladů pro optimalizační výpočet a realizace optimalizačního výpočtu.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČERNÝ, J.; KLUVÁNEK, P., Základy matematické teorie dopravy. Bratislava: VEDA, 1990. 279 s. ISBN 80-224-0099-8

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



  
doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 53 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít toto dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě:.....

Adresa trvalého pobytu studenta:

.....

Bc. Michaela Byrtusová  
Jablunkov č. 323  
739 91 Jablunkov

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Byrtusová, M. Optimalizace časových poloh spojů při svozu žáků do škol. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 70 stran. Diplomová práce, vedoucí Teichmann, D.

Předložená diplomová práce se zabývá optimalizací časových poloh spojů při svozu žáků do škol. Úvodní kapitoly diplomové práce se zabývají definováním problému, stručnou charakteristikou řešené oblasti a výběrem jednotlivých spojů, které zajišťují svoz žáků. Dále je provedena analýza oběhů vozidel, na základě které jsou určeny intervaly, ve kterých je možno se spoji posouvat v čase. V další kapitole je sestaven lineární matematický model, k jehož řešení je použit program Xpress-IVE. V práci jsou provedeny tři typy výpočetních experimentů a zhodnoceny dosažené výsledky. U nejvýhodnějšího navrženého řešení byla provedena jeho implementace pro praktické použití.

## **ANOTATION OF THESIS**

Byrtusová, M. Temporal position in the collection of scholars to schols optimisation Ostrava: Institute of Mechanical Engineering VŠB – TU Ostrava, 2011, 70 p. Diploma work, supervisor Teichmann, D.

Presented diploma work deals with the optimization of connection time positions during the pupil transportation process. The initial chapters of the diploma work contain the problem definitions, the brief characteristics of solved area and choice of particular connections ensuring the pupil transportation. Further, the analysis of vehicle circulation is performed. On the base of this analysis the periods are determined when the shift of connection in the time is possible. The linear mathematical model using software Xpress-IVE is assembled in the following chapter. The work contains three type of calculation experiments, the reached results are evaluated. In case of most convenient proposal the implementation for practical use was performed.

## Obsah

Seznam použitého značení .....	8
1 Úvod .....	9
2 Obecná charakteristika problému .....	11
2.1 Základní pojmy .....	13
3 Charakteristika řešené oblasti a spojů obsluhující řešenou oblast .....	15
3.1 Charakteristika řešené oblasti .....	15
3.2 Zmapování školských zařízení .....	16
3.3 Charakteristika řešené oblasti z pohledu zajišťované dopravní obslužnosti .....	16
4 Teoretická východiska řešení .....	22
4.1 Návrh matematického modelu .....	23
5 Příprava podkladů pro optimalizační výpočet a realizace optimalizačního výpočtu .....	28
5.1 Podklady pro optimalizační výpočet .....	28
5.2 Realizace optimalizačního výpočtu .....	40
5.2.1 Experiment č. 1 .....	40
5.2.2 Experiment č. 2 .....	43
5.2.3 Experiment č. 3 .....	46
6 Zhodnocení dosažených výsledků .....	50
6.1 Zhodnocení experimentu z hlediska změny polohy spojů v čase .....	50
6.1.1 Zhodnocení experimentu č. 1 .....	50
6.1.2 Zhodnocení experimentu č. 2 .....	52
6.1.3 Zhodnocení experimentu č. 3 .....	53
6.2 Doplnkové zhodnocení experimentů v případech zajišťování svozu žáků do školy více spoji .....	55
6.2.1 Zhodnocení experimentu č. 1 .....	56
6.2.2 Zhodnocení experimentu č. 2 .....	56

6.2.3	Zhodnocení experimentu č. 3 .....	57
6.3	Doplňkové zhodnocení experimentu z hlediska změn v současných turnusech řidičů .....	57
6.3.1	Změny ve vedení turnusů obsluhujících spoje zajišťující svoz.....	58
6.3.2	Přehled úprav časového vedení spojů v návaznosti na přechody vozidel mezi turnusy .....	64
7	Závěr .....	68
	Seznam použité literatury .....	69
	Seznam příloh .....	70

## Seznam použitého značení

a. s.	akciová společnost	
$a_j$	maximální dovolený posun spoje $j \in J$	$[min]$
AS	autobusové stanoviště	
HÚF	hodnota účelové funkce	
$J$	množina obsluhovaných spojů	
$J_0$	rozšířena množina spojů	
$M$	prohibitivní konstanta	
$n$	počet spojů zajišťující svoz žáků	
$r_{jk}$	doba přejezdu neobsazeného vozidla z cílové zastávky spoje $j \in J$ na výchozí zastávku spoje $k \in J$	$[min]$
$t_j^0$	nejdříve možný čas odjezdu spoje $j \in J$ z výchozí zastávky	$[min]$
$T_j$	doba jízdy spoje $j \in J$ z výchozí zastávky do cílové zastávky	$[min]$
tkm	tarifní kilometr	
$x_j$	proměnná modelující posun spoje $j \in J$	$[min]$
$y_{0k}$	proměnná modelující výběr vozidla k obsluze spoje $k \in J$	
$y_{jk}$	proměnná modelující (ne) uskutečnění přejezdu z cílové zastávky spoje $j \in J$ na výchozí zastávku spoje $k \in J$	



# 1 Úvod

Potřeba přemísťovat se v prostoru a čase v podstatě doprovází lidstvo od jeho prvopočátků. Pro vyspělé země platí, že osobní doprava je jedním z nejdůležitějších předpokladů pro současnou mobilitu obyvatelstva a je tedy i hybatelem celého národního hospodářství. Místa, ve kterých lidé realizují různé své potřeby (takovými místy mohou být např. místo bydliště, místo zaměstnání, místa, ve kterých je poskytována zdravotní péče), jsou totiž od sebe zpravidla vzdálena.

Obecně však platí, že poptávka po přepravních službách je nerovnoměrná jak v prostoru, tak v čase. V průběhu dne se střídají dopravní špičky a dopravní sedla. Navíc i konkrétní směr může být v určité části dne zatížen více, v ostatních částech dne zatížen méně. Např. pro příměstskou dopravu platí, že v ranních hodinách silné přepravní proudy směřují z okolí měst do jejich center, v odpoledních hodinách je tomu naopak.

Jednou takovou dopravní špičkou je období svozu žáků do školských zařízení. Vznik uvedené dopravní špičky je způsoben jak směrovou, tak i časovou nerovnoměrností. Směrová nerovnoměrnost je v tomto případě vyvolána tím, že se žáci při této aktivitě nekoncentrují plošně, ale pouze v určitých místech. Příčinou časové nerovnoměrnosti je, že se musí do míst, kde je jim poskytováno vzdělání, dostat v poměrně krátkém časovém období. Většina vzdělávacích zařízení totiž začíná svou činnost v časovém intervalu 7:30 - 8:00 hodin.

Přepravní špička obecně vyvolává zvýšené nároky jak na dopravní infrastrukturu, tak i na technickou základnu dopravců, jejichž předmětem činnosti je poskytování veřejné hromadné dopravy. To se promítá zejména v potřebě vlastnit více vozidel a zaměstnávat více řidičů. Tato skutečnost byla impulsem k řešení problému definovaného společností VEOLIA Transport Morava, a.s., konkrétně se jedná o to, jak by se promítnulo větší rozložení začátků vyučování na potřebě vozidel, které v současné době zajišťují svoz žáků k uvedeným školním zařízením.

Předložená diplomová práce je tedy zaměřena na optimalizaci časových poloh spojů zajišťujících svoz žáků do škol, přičemž k praktickým experimentům bylo zvoleno město Jablunkov a jeho blízké okolí, ve kterém zabezpečuje svoz žáků právě společnost

VEOLIA Transport Morava, a.s. Předmětem práce bude praktické využití obecného matematického modelu, který byl v minulosti sestaven v podmínkách konkrétního území. V minulosti sestavený matematický model však v publikovaném tvaru neobsahuje (ani to není možné) všechna specifika, která přicházejí v úvahu v podmínkách řešeného území, proto musí být jeho použitelnost nejdříve prověřena. Pokud se prokáže, že model nezohledňuje všechna reálná omezení, která bude při řešení zapotřebí dodržet, budou muset být tato chybějící omezení před vlastními experimenty do modelu zapracována.

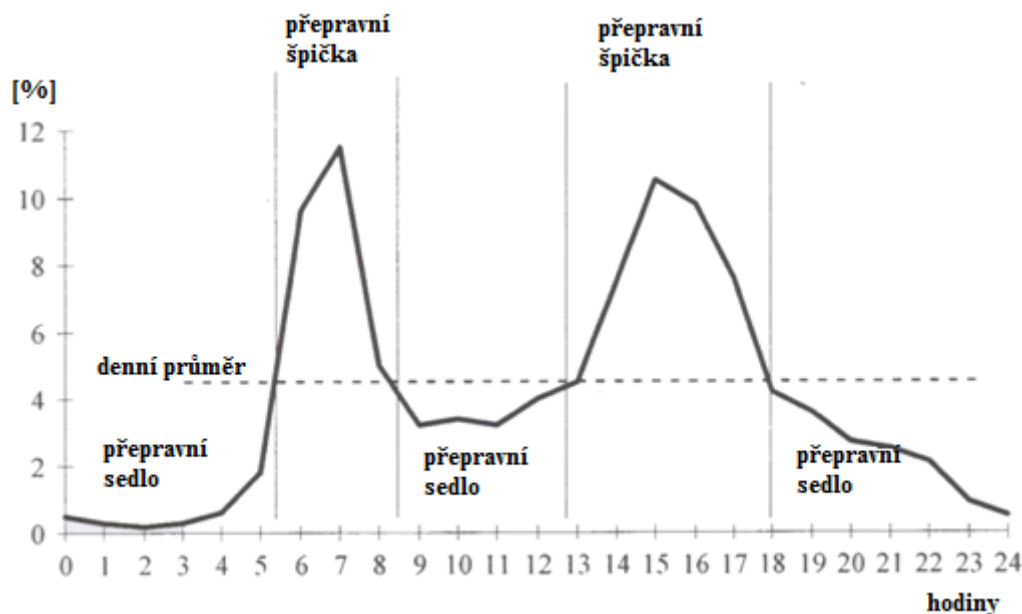
## 2 Obecná charakteristika problému

Bez veřejné hromadné osobní dopravy bychom nebyli schopni zabezpečit mobilitu obyvatel do zaměstnání, za kulturou a do zařízení občanské vybavenosti zpravidla nad rámec obce. Veřejná hromadná osobní doprava musí vykazovat určité znaky, jako jsou například spolehlivost, kvalita, ale musí být samozřejmě taky cenově dostupná. Není možné v žádném případě očekávat, že bychom tržbami pokryli všechny náklady provozu. Proto je zapotřebí veřejnou hromadnou osobní dopravu dotovat. To však může vyvolat značné nároky na veřejný rozpočet, např. jen v Moravskoslezském kraji dotační náročnost v autobusové dopravě činila za rok 2010 částku 480 miliónů Kč a v železniční osobní dopravě byla tato dotační náročnost mnohem vyšší, šlo dokonce o částku 832 miliónů Kč.

Základním problémem, který vyvolává potřebu optimalizačních výpočtů, je, že dochází k časové nerovnoměrnosti spojů. To je zapříčiněno tím, že během dne dochází k výskytu vysokých intenzit cestujících, tzv. špičkám, a naopak k výskytu období s extrémními poklesy intenzit, kterým se říká sedla. Přepravení špička je způsobena tím, že za krátký interval je potřeba obsloužit rozsáhlý počet požadavků, jako je například svoz zaměstnanců do zaměstnání, nemocných obyvatel do nemocničních a rehabilitačních zařízení a také svoz žáků do školských zařízení, který se děje zpravidla od 7:30 do 8:00 hod.

Přepravení špičky jsou tedy denními obdobími, která způsobují dopravcům po provozní a následně i ekonomické stránce největší problémy.

Obecně je přepravní špička podle [2] definována jako časový úsek, ve kterém je intenzita přepravního proudu větší než průměr za sledované období. V průběhu dne se zpravidla vyskytují dvě přepravní špičky – ranní a odpolední, viz obr. č. 1.



Obr. č. 1 Rozložení intenzity cestujících v průběhu dne [2]

Z průběhů přepravních špiček je zřejmé, že ranní špička je kratší a větší svou intenzitou, odpolední špička je časově delší, ovšem intenzita cestujících je nižší. Rozdílnost v délce jednotlivých přepravních špiček je zapříčiněna tím, že v průběhu odpolední přepravní špičky se část cestujících nevrací okamžitě po ukončení pracovní doby z místa pracoviště do místa bydliště, ale přepravuje se za svými soukromými nebo veřejnými zájmy. Uvažuje-li se, např. podle publikace [2], že období ranních přepravních špiček trvá od 5 do 8 hodin a odpoledních přepravních špiček od 13 do 18 hodin, tvoří celkové období přepravní špičky cca 1/3 pracovního dne. Je tedy patrné, že vozidla využívaná pouze v období přepravních špiček nejsou v průběhu daného dne po jeho převážnou část využívána. Z provedené charakteristiky přepravní špičky je logické, že bude zapotřebí větší množství personální potřeby řidičů. Kritickým obdobím z pohledu potřebného počtu vozidel a potřebného počtu řidičů je období ranní přepravní špičky. Jednou z možností, jak tuto hlavní příčinu alespoň z části odstranit, je rozložit intenzitu cestujících do delšího časového období.

Nabízí se tedy otázka, jak rozložit přepravní špičku, abychom zmenšili náklady. V první řadě, pokud se podaří redukovat počet vozidel, zpravidla se podaří snížit i počet řidičů. Toho může být dosaženo za předpokladu, že bude dovoleno posunout začátek školního vyučování v jednotlivých školských zařízeních, ke kterým hromadné dopravní prostředky žáky svázejí.

Cílem předložené práce je navrhnout pomocí vhodného řešícího aparátu zrovnoměnění přepravní poptávky v čase tak, aby byly zachovány požadavky cestujících a podmínky stanovené dopravcem.

Akceptovatelnost navržených řešení závisí především na tom, do jaké míry budou zřizovatelé školních zařízení a zejména sama školní zařízení ochotna přijmout fakt, že jim bude změněn začátek školního vyučování. Žádné přímé přínosy z provedené optimalizace totiž zejména pro školská zařízení nejsou. Ty se promítnou především ve snižování dotační náročnosti do veřejné hromadné dopravy. Ušetřené prostředky pak mohou být použity např. na dofinancování jiných vzdělávacích aktivit.

Předloženou diplomovou práci lze brát jako výstup z první fáze procesu vytvoření uceleného materiálu, který by se zabýval zefektivňováním veřejné hromadné dopravy na území Jablunkovska. V textu diplomové práce bude použita celá řada odborných pojmů, z uvedeného důvodu je zařazena krátká kapitola rekapitulující význam těchto termínů.

## **2.1 Základní pojmy**

Níže uvedené základní pojmy jsou definovány v souladu s literaturou [2].

Linka – je fyzicky daná trasa na dopravní cestě, která je určena konečnými zastávkami. Mezi konečnými zastávkami se na lince nacházejí zastávky mezilehlé. V příměstské dopravě, jejíž optimalizace je předmětem diplomové práce, jsou linky označeny šestimístním číselným kódem.

Spoj – je časově a místně určené dopravní spojení mezi dvěma konečnými zastávkami - výchozí a cílovou zastávkou. Každý spoj je přidělen některé z provozovaných linek a, analogicky jako linka, má taktéž přiděleno své identifikační číslo. V průběhu obsluhy území obsluhuje spoj zpravidla všechny mezilehlé zastávky nacházející se na trase dané linky, které je přiřazen. Může však nastat situace, že spoj během dopravní obsluhy celou svou trasou neprojede, tj. projede pouze její částí nebo projíždí i částí trasy jiné linky.

Turnusový příkaz – je časový harmonogram vytvářený pro jednotlivá vozidla, který obsahuje informace o posloupnosti spojů, které má dané vozidlo obsluhovat a souvisejících

činností, např. dob bezpečnostních přestávek, dob potřebných pro výkon administrativních prací (např. odvod tržeb) nebo dob potřebných pro kontrolu technického stavu vozidla.

Výchozí zastávka – je konečná zastávka, ve které začíná spoj obsluhovat trasu dané linky.

Cílová zastávka – je konečná zastávka, ve které spoj končí obsluhovat trasu dané linky. Po ukončení spoje na konečné zastávce může následovat bezpečnostní přestávka řidiče, technická prohlídka vozidla, přejezd vozidla do garáže nebo na jiné místo určené pro odstavení vozidla nebo začátek obsluhy dalšího spoje, jehož výchozí zastávka je totožná s cílovou zastávkou předchozího obsluhovaného spoje.

Doba jízdy – je doba, kterou vozidlo potřebuje k přemístění z výchozí konečné do cílové konečné zastávky při obsluze spoje dané linky.

Vzdálenost – je délka trasy ujetá vozidlem mezi výchozí konečnou a cílovou konečnou zastávkou, případně délka trasy ujetá vozidlem v rámci přejezdů, při kterých není prováděna dopravní obsluha území.

DPV – doba denní prohlídky vozidla, která bývá zpravidla prováděna před začátkem pracovní směny řidiče, ale také v průběhu nebo po skončení pracovní směny řidiče.

Administrativní práce POD – je činnost, která zahrnuje účtování tržeb a její následné odevzdání, případně vyplňování jízdních výkazů vozidel apod.

Bezpečnostní přestávka – je přestávka, která je určena pro fyzický a psychický odpočinek řidiče. Je nutná pro zachování pozornosti řidiče v průběhu řízení silničního motorového vozidla. Její výše vyplývá z platné legislativy, např. zákona o pracovní době a době odpočinku zaměstnanců s nerovnoměrně rozvrženou pracovní dobou v dopravě, Evropské dohody o práci osádek v mezinárodní silniční dopravě (AETR) a vnitropodnikových předpisů (např. kolektivní smlouvy).

### 3 Charakteristika řešené oblasti a spojů obsluhující řešenou oblast

#### 3.1 Charakteristika řešené oblasti

V úvodu diplomové práce bylo deklarováno, že inspirací pro její tvorbu byl konkrétní problém definovaný společností VEOLIA Transport Morava, a.s. Za účelem experimentů prováděných s vytvořenými modely bylo zapotřebí vytipovat území, v jehož podmínkách budou experimenty realizovány. K řešení problému byla vybrána oblast města Jablunkov a jeho blízkého okolí.

Fragment mapy znázorňující řešenou oblast je uveden na obr. č. 2.



Obr. č. 2 Fragment mapa řešené oblasti [8]

Řešená oblast zahrnuje město Jablunkov a přilehlé obce a jejich místní části. Konkrétně se jedná o obce Bukovec, Dolní Lomná, Jablunkov, Milíkov, Mosty u Jablunkova, Návsi, Písečná, Třinec a jejich místní části Lísky a Radvanov (místní část obce Jablunkov).

Protože je předmětem diplomové práce zajišťování svozu žáků do škol, bude v další podkapitole zmapováno jejich rozmístění v rámci území, na kterém budou prováděny experimenty.

### **3.2 Zmapování školských zařízení**

Předmětem řešené práce bude optimalizace svozu žáků k devíti školským zařízením. Uvedená školská zařízení poskytují buď střední odborné, nebo ucelené základní vzdělání, jedná se tedy o střední a základní školy, kde výuka žáků probíhá od 1. do 9. ročníku. Dále se jedná o školská zařízení, která neposkytují ucelené základní vzdělání. Jsou to základní školy s nižším počtem ročníků, ve kterých výuka žáků probíhá od 1. do 5. ročníku.

Z těchto devíti uvedených základních škol je 5 základních škol devítiletých, 3 základní školy s nižším počtem ročníků a 1 střední odborná škola

### **3.3 Charakteristika řešené oblasti z pohledu zajišťované dopravní obslužnosti**

Před začátkem řešení bylo zapotřebí vytipovat spoje, které jsou ke svozu žáků v řešeném území určeny. V tomto směru byl vznesen dotaz, zda společnost VEOLIA Transport Morava a.s. nemá k dispozici seznam takto určených spojů. Protože se však prokázalo, že společnost podobným seznamem nedisponuje, bylo zvoleno náhradní řešení: do množiny spojů, které budou předmětem optimalizace, byly zahrnuty spoje jezdící v daných obcích a jejich místních částech v časovém rozmezí od 7:00 do 8:00 hod. pouze ve dnech školního vyučování. Počet spojů jezdících v daných obcích a jejich místních částech v časovém rozmezí od 7:00 do 8:00 hod. ve dnech školního vyučování činí 18.

Je třeba uvést, že v řešeném území se vyskytují i další spoje jezdící pouze ve dnech školního vyučování, u těchto spojů se však v současné době nepředpokládá, že by se podílely na svozu žáků do škol. Jejich příjezdy do blízkosti školských zařízení totiž nastávají až po 8 hodině.

V dalším textu bude provedena základní charakteristika vybraných spojů. Dále zde budou uvedeny podrobnější údaje o celkových počtech zastávek, včetně výchozích konečných a cílových konečných zastávek.



*Linka č. 860241 spoj č. 8*

Spoj má podle jízdního řádu délku 3,2 tarifních kilometrů (dále jen „tkm“). Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Mosty u Jablunkova, státní hranice a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Mosty u Jablunkova, obecní úřad. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 5. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 3 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860245 spoj č. 23*

Spoj má podle jízdního řádu délku 7,1 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Mosty u Jablunkova, obecní úřad a konečnou cílovou zastávkou je Jablunkov, autobusové stanoviště. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 12. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 10 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860243 spoj č. 39*

Spoj má podle jízdního řádu délku 8,2 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Bukovec, škola a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Návsí, železniční stanice. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 12. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 10 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860246 spoj č. 9*

Spoj má podle jízdního řádu délku 8,5 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Návsí, železniční stanice a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Jablunkov, autobusové stanoviště. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 13. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost pouze u 9 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860245 spoj č. 28*

Spoj má podle jízdního řádu délku 7,1 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Jablunkov, autobusové stanoviště a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Mosty u Jablunkova, obecní úřad. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 12. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost pouze u 9 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860243 spoj č. 44*

Spoj má podle jízdního řádu délku 14,8 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Třinec, autobusové stanoviště a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Jablunkov, autobusové stanoviště. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 12. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost pouze u 9 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860244 spoj č. 11*

Spoj má podle jízdního řádu délku 21,8 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Dolní Lomná, Jestřábí potok a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Třinec, autobusové stanoviště. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 20. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost pouze u 17 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860243 spoj č. 38*

Spoj má podle jízdního řádu délku 6,7 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Jablunkov, autobusové stanoviště a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Bukovec, škola. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 11. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost pouze u 8 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860240 spoj č. 10*

Spoj má podle jízdního řádu délku 5,6 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Návsí, železniční stanice a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Jablunkov, točna. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 7. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 5 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860240 spoj č. 13*

Spoj má podle jízdního řádu délku 4,1 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Jablunkov, točna a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Jablunkov, autobusové stanoviště. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 7. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 5 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860245 spoj č. 25*

Spoj má podle jízdního řádu délku 12,4 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Mosty u Jablunkova, Šance konečná a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Návsí, železniční stanice. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 19. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 17 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860242 spoj č. 9*

Spoj má podle jízdního řádu délku 2,3 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Radvanov, konečná a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Jablunkov, autobusové stanoviště. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 5. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 3 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860248 spoj č. 7*

Spoj má podle jízdního řádu délku 3,3 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Jablunkov, Lisky, konečná a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Jablunkov, autobusové stanoviště. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 6. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost pouze u 3 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860247 spoj č. 14*

Spoj má podle jízdního řádu délku 7,5 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Milíkov, pila a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Jablunkov, poliklinika. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 11. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 9 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860243 spoj č. 126*

Spoj má podle jízdního řádu délku 9,4 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Návsí, železniční stanice a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Bukovec, hranice. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 11. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost pouze u 8 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860243 spoj č. 148*

Spoj má podle jízdního řádu délku 4 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Bukovec, hranice a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Bukovec, škola. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 5. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 3 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860243 spoj č. 45*

Spoj má podle jízdního řádu délku 8,2 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Bukovec, škola a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Návsí, železniční stanice. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 13. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 11 mezilehlých zastávek.

*Linka č. 860243 spoj č. 35*

Spoj má podle jízdního řádu délku 6,7 tkm. Výchozí konečnou zastávkou je zastávka Bukovec, škola a konečnou cílovou zastávkou je zastávka Jablunkov, autobusové stanoviště. Celkový počet obsluhovaných zastávek ležících na trase spoje je 11. V rámci spoje je prováděna dopravní obslužnost u 9 mezilehlých zastávek

Základní identifikační údaje týkající se všech spojů jsou přehledně shrnuty v tab. č. 1.

Tab. č. 1

Číslo linky	Číslo spoje	Délka spoje [tkm]	Počet zastávek na trase spoje celkem	Počet obsluhovaných zastávek na trase spoje
860241	8	3,2	13	5
860245	23	7,1	12	12
860243	39	8,2	21	12
860246	9	8,5	1	1
860245	28	7,1	12	11
860243	44	14,8	12	11
860244	11	21,8	20	19
860243	38	6,7	20	10
860240	10	5,6	8	7
860240	13	4,1	7	7
860245	25	12,4	19	19
860242	9	2,3	5	5
860248	7	3,3	6	5
860247	14	7,5	11	10
860243	126	9,4	17	10
860243	148	4	5	5
860243	45	8,2	21	13
860243	35	6,7	20	11

V dalším textu bude uveden soupis 14 autobusových konečných zastávek, mezi kterými spoje zajišťující svoz jezdí. Konkrétně se jedná o následující konečné zastávky:

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| – Mosty u Jablunkova, Šance, konečná | – Jablunkov, Lísky, konečná        |
| – Mosty u Jablunkova, státní hranice | – Jablunkov, poliklinika           |
| – Mosty u Jablunkova, obecní úřad    | – Jablunkov, autobusové stanoviště |
| – Dolní Lomná, Jestřábí potok        | – Radvanov, konečná                |
| – Bukovec, hranice                   | – Návsí, železniční stanice        |
| – Bukovec, škola                     | – Milíkov, pila                    |
| – Jablunkov, točna                   | – Třinec, autobusové stanoviště    |

Časové údaje vztahující se k daným spojům, tj. současné časové polohy jednotlivých spojů, včetně informací potřebných k možným potencionálním posunům spojů, budou uvedeny v kapitole, která se bude věnovat přípravě podkladů pro optimalizační výpočet.

## 4 Teoretická východiska řešení

Kapitola 4 bude věnována tvorbě matematických modelů, na základě jejichž řešení bude možno vyhledávat optimální způsob svozu žáků do škol.

K řešení problematiky určení časových poloh spojů při svozu žáků do škol lze použít jak metody heuristické, tak i metody z oblasti matematického programování. V předložené práci bude hledáno exaktní řešení, tj. kapitola zabývající se teoretickými východisky práce bude zaměřena na tvorbu lineárních matematických modelů. Lineární matematické modely byly zvoleny z toho důvodu, že se jedná o plánovací úlohu, k jejímuž řešení je k dispozici dostatečný čas.

Následující odstavce budou věnovány základním zásadám pro tvorbu lineárních matematických modelů.

Obsahem lineárního programování je tvorba matematických modelů a jejich řešením se za určitých vstupních podmínek snažíme najít nejlepší dosažitelné řešení, tzv. optimální řešení. V úlohách lineárního programování pracujeme se dvěma skupinami veličin, kterými jsou:

- konstanty,
- proměnné.

Konkrétní hodnoty konstant jsou již v prvopočátku řešení úlohy známy a v průběhu výpočtu se žádná z nich nezmění.

Úkolem proměnných je modelovat rozhodnutí, která se očekávají od řešitelů. Hodnoty proměnných nejsou v prvopočátku řešení úlohy známy a v průběhu výpočtu se mění. Každá z proměnných musí však mít určen definiční obor hodnot, který se volí, jak již bylo uvedeno, na základě rozhodnutí, která se od řešitele očekávají.

U proměnných se v lineárním programování používají tři typy definičních oborů:

- množina nezáporných čísel,
- množina celých nezáporných čísel,

- bivalentní proměnná – nabývá dvou hodnot 0 a 1.

Pro lineární programování je charakteristické, že v matematických modelech se vyskytují pouze lineární proměnné.

Matematické modely jsou v podmínkách lineárního programování složeny ze dvou základních částí, a to:

- soustava omezujících podmínek,
- účelová funkce.

Soustava omezujících podmínek je v matematickém modelu proto, aby vymezila množinu přípustných řešení úlohy. Omezující podmínky se dělí do dvou skupin: strukturální a obligatorní. Strukturální podmínky vyjadřují reálná omezení nebo zajišťují vazby mezi proměnnými, obligatorní podmínky vymezují definiční obory jednotlivých proměnných, které v úloze modelují jednotlivá rozhodnutí.

Účelová funkce je funkční vztah, který vyjadřuje hodnotu optimalizované veličiny. Pomocí účelové funkce se do modelu zapracovává optimalizační kritérium. Cílem optimalizace je najít extrém účelové funkce, typ extrému vyplývá z podstaty optimalizačního kritéria. V rámci procesu optimalizace se tedy hledá takové řešení, ve kterém hodnota účelové funkce nabývá minima nebo maxima.

Úlohy lineárního programování lze řešit různými způsoby. V současné době se pro řešení zpravidla využívá optimalizační software. V předložené diplomové práci bude k řešení sestavených modelů použit optimalizační software Xpress-IVE.

#### **4.1 Návrh matematického modelu**

V podkapitole 4.1 budou prezentovány dva matematické modely pro optimalizaci časových poloh spojů při svozu žáků do škol. Oba modely se od sebe budou lišit optimalizačním kritériem. V prvním z matematických modelů bude optimalizačním kritériem celkový počet vozidel, která budou k obsluze spojů vypravena, ve druhém z matematických modelů bude optimalizační kritérium kumulované – na základě tohoto optimalizačního kritéria bude možno minimalizovat nejen celkový počet vozidel, která

budou k obsluze spojů nasazena, ale i celkový počet neproduktivně ujetých kilometrů při přejezdech mezi konečnými zastávkami.

Nejdříve bude optimalizační úloha formulována v obecné podobě, analogicky jak je uvedeno v publikaci. [7].

Dopravce v určitém časovém intervalu provozuje  $n$  spojů, které zajišťují svoz žáků do škol. Pro každý spoj  $s_j, j = 1, \dots, n$  je známá jeho aktuální poloha, je znám interval  $a_j$ , ve kterém je možno s daným spojem  $j$  posouvat v čase a dále doby jízdy jednotlivých spojů  $T_j$  z výchozí konečné zastávky do cílové konečné zastávky. Dále jsou k dispozici doby přejezdů  $r_{jk}$  cestujícími neobsazeného vozidla po ukončení obsluhy spoje  $j$  z cílové konečné zastávky na výchozí konečnou zastávku spoje  $s_k$ , kde  $k = 1, \dots, n$ . Rozhoduje se o posunech jednotlivých spojů vztažmo k jejich nejdříve možným časovým polohám tak, aby se minimalizoval celkový počet vozidel nasazených k jejich obsluze nebo aby se minimalizovala hodnota kumulativního optimalizačního kritéria.

V matematickém modelu se budou vyskytovat následující symboly:

$J$ ... množina obsluhovaných spojů  $j = 1, \dots, n$ ,

$J_0$ ... rozšířená množina spojů  $j = 0, \dots, n, J_0 = J \cup \{0\}$ . Spoj 0 reprezentuje tzv. ranní depo, tj. fiktivní místo, ze kterého jsou vozidla fiktivně vypravována a nasazována na obsluhu jednotlivých spojů,

$M$ ... prohibitivní konstanta, která nabude vhodně zvolenou vysokou hodnotu.

Za účelem využití lineárního programování k řešení daného problému (využití intervalů pro posuny spojů v celé jejich délce) je zapotřebí každý spoj převést do některé z krajních poloh, v případě následujících modelů půjde o nejdříve možné časové polohy v případě odjezdů spojů z výchozích konečných zastávek.

Dalším nezbytným podkladem pro optimalizaci daného problému je definování proměnných, které budou při řešení úlohy modelovat jednotlivá rozhodnutí. V případě řešené úlohy je nutno rozhodovat o dvou skutečnostech. První skupinu rozhodnutí tvoří rozhodnutí o posunech jednotlivých spojů zajišťujících svoz, druhou skupinu rozhodnutí tvoří rozhodnutí o přejezdech vozidel mezi spoji. Na základě naplánovaných přesunů bude



zároveň možné určit, která vozidla budou spoje obsluhovat. V matematickém modelu budou mít proměnné následující označení a významy:

$x_j$ ... skupina proměnných modelující posuny jednotlivých spojů  $j \in J_0$

$y_{jk}$ ... skupina bivalentních proměnných, která bude modelovat rozhodnutí o tom, zda bude nebo nebude uskutečněný přejezd vozidla po obsluze spoje  $j \in J_0$  k obsluze spoje  $k \in J$ . Pokud bude po vyřešení úlohy platit,  $y_{jk}=0$ , potom přejezd vozidla po ukončení obsluhy spoje  $j$  (s výjimkou spoje 0) k začátku obsluhy spoje  $k$ , nebude uskutečněn. V opačném případě, tj. že po vyřešení úlohy bude platit  $y_{jk}=1$ , pak přejezd vozidla po ukončení obsluhy spoje  $j$  (s výjimkou spoje 0) na začátek obsluhy spoje  $k$ , bude uskutečněn. V případě, že  $y_{0k}=0$ , bude to znamenat, že k obsluze spoje  $k \in J$  „nevypravíme vozidlo z fiktivního depa“, v případě, že  $y_{0k}=1$ , bude to znamenat, že k obsluze spoje  $k \in J$  „vypravíme vozidlo z fiktivního depa“.

*Varianta I matematického modelu:*

Jak již bylo uvedeno, ve variantě číslo I lineárního matematického modelu bude optimalizačním kritériem počet vozidel, která budou k obsluze spojů vypravěna, a cílem optimalizace bude tento počet vozidel minimalizovat.

Matematický model má tvar:

$$\min f(y) = \sum_{k \in J} y_{0k} \quad (1)$$

za podmínek:

$$\sum_{j \in J_0} y_{jk} = 1 \quad \text{pro } k \in J \quad (2)$$

$$\sum_{k \in J} y_{jk} \leq 1 \quad \text{pro } j \in J \quad (3)$$

$$x_j \leq a_j \quad \text{pro } j \in J \quad (4)$$

$$t_j^0 + T_j + x_j + r_{jk} \leq t_k^0 + x_k + M * (1 - y_{jk}) \quad \text{pro } j \in J, k \in J \quad (5)$$

$$y_{jk} \in \{0,1\} \quad \text{pro } j \in J_0, k \in J \quad (6)$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{pro } j \in J \quad (7)$$

Výraz (1) reprezentuje účelovou funkci – celkový počet vozidel použitých k obsluze definované množiny spojů. Skupinou omezujících podmínek typu (2) bude zajištěno, že k obsluze každého spoje bude určeno právě jedno vozidlo. Skupina omezujících podmínek typu (3) zajistí, že po obsluze každého spoje  $j \in J$  bude nařízen přejezd k obsluze maximálně jednoho dalšího spoje  $k \in J$  z definované množiny spojů. Skupina omezujících podmínek typu (4) zajistí, že posuny jednotlivých spojů nepřekročí maximální možné hodnoty pro tyto posuny stanovené. Skupina omezujících podmínek typu (5) vytváří vazby mezi proměnnými  $x_j$  a  $y_{jk}$ . Tato skupina podmínek slouží k zajištění skutečnosti, že není - li přejezd vozidla po ukončení obsluhy spoje  $j$  na začátek obsluhy spoje  $k$  z časového hlediska možný, potom  $y_{jk}$  nabude hodnotu 0. Skupiny omezujících podmínek typu (6) a (7) vymezují definiční obory jednotlivých proměnných – jsou tedy podmínkami obligatorními.

#### *Varianta II matematického modelu:*

Jak již bylo uvedeno, varianta matematického modelu II se od varianty matematického modelu I liší v účelové funkci, ve variantě II modelu v sobě optimalizační kritérium zahrnuje jak celkový počet vozidel, která budou k obsluze spojů vypravena, tak i počet neproduktivně ujetých kilometrů při přejezdech mezi konečnými zastávkami, přičemž hodnota účelové funkce se opět minimalizuje. Ve srovnání s účelovou funkcí použitou ve variantě I, bude ve variantě II optimalizační algoritmus přihlížet i ke druhému kritériu, což ve variantě I není zaručeno. Dá se tedy očekávat, že varianta II určitě neposkytne z pohledu zvolených optimalizačních kritérií horší řešení než varianta I. Symbol  $v$  v účelové funkci reprezentuje průměrnou rychlost vozidla při přejezdu mezi konečnými zastávkami spojů, výraz  $v * r_{jk} * y_{jk}$  reprezentuje dráhu ujetou při neproduktivních přejezdech mezi konečnými zastávkami. Vynásobíme-li proměnnou  $v_{0k}$  prohibivní konstantou  $M$ , zvyšujeme váhu tohoto kritéria ve srovnání s druhým dílčím kritériem, kterým je počet neproduktivně ujetých kilometrů při přejezdech vozidel neobsazených cestujícími mezi konečnými zastávkami.

Matematický model:

$$\min f(y) = \sum_{k \in J} y_{0k} * M + \sum_{j \in J} \sum_{k \in J} v * r_{jk} * y_{jk} \quad (8)$$

za podmínek:

$$\sum_{j \in J_0} y_{jk} = 1 \quad \text{pro } k \in J \quad (9)$$

$$\sum_{k \in J} y_{jk} \leq 1 \quad \text{pro } j \in J \quad (10)$$

$$x_j \leq a_j \quad \text{pro } j \in J \quad (11)$$

$$t_j^0 + T_j + x_j + r_{jk} \leq t_k^0 + x_k + M * (1 - y_{jk}) \quad \text{pro } j \in J, k \in J \quad (12)$$

$$y_{jk} \in \{0,1\} \quad \text{pro } j \in J_0, k \in J \quad (13)$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{pro } j \in J \quad (14)$$

Význam jednotlivých skupin omezujících podmínek (9) – (14) zůstává stejný jako v případě varianty I.

S oběma variantami sestavených lineárních matematických modelů budou v podkapitole 5. 2 realizovány výpočetní experimenty.

## **5 Příprava podkladů pro optimalizační výpočet a realizace optimalizačního výpočtu**

### **5.1 Podklady pro optimalizační výpočet**

Pro řešení matematického modelu v lineárním programování je v první řadě zapotřebí mít k dispozici vstupní údaje vyžadované navrženými matematickými modely. To v řešeném případě splněno je. Hlavním podkladem jsou turnusové příkazy řidičů, které obsahují časové harmonogramy celých směn, na základě kterých je možno požadované údaje získat. Z turnusových příkazů budou vybrány spoje, které svoz žáků zajišťují a u nich se pak následně zjistí časové údaje, na základě kterých je možno určit přípustné intervaly, ve kterých mohou být jejich posuny prováděny.

Vybrané spoje, které jezdí ve dnech školního vyučování jsou uvedeny v tab. č. 2. V tab. č. 2 jsou dále uvedeny základní informace vyžadované modelem, kterými jsou konečné zastávky, aktuální časová poloha a doba jízdy spoje.

Tab. č. 2

Číslo linky	Číslo spoje	Výchozí konečná zastávka	Čas odjezdu	Cílová konečná zastávka	Čas příjezdu	Délka spoje [tkm]	Doba jízdy [min]	Číslo turnusového příkazu	Poznámka
860241	8	Mosty, státní hranice	7:10	Mosty, obecní úřad	7:18	3,2	8	146.2	
860245	23	Mosty, obecní úřad	7:20	Jablunkov, AS	7:35	7,1	15		
860243	39	Bukovec, škola	7:20	Návsí, železniční stanice	7:44	8,2	24	147.2	odjezd podle JŘ
860246	9	Návsí, železniční stanice	7:02	Jablunkov, AS	7:24	8,5	22	148.2	
860245	28	Jablunkov, AS	7:25	Mosty, obecní úřad	7:43	7,1	18		
860243	44	Třinec, AS	7:35	Jablunkov, AS	8:00	14,8	25	151.2	Odjezd podle JŘ
860244	11	D. Lomná, Jestřábí potok	7:00	Třinec, AS	7:40	21,8	40	155.2	
860243	38	Jablunkov, AS	7:25	Bukovec, škola	7:41	6,7	16	160.2	
860240	10	Návsí, železniční stanice	7:05	Jablunkov, točna	7:19	5,6	14	162.2	
860240	13	Jablunkov, točna	7:20	Jablunkov, AS	7:31	4,1	11		jede přes Školní ulici
860245	25	Mosty, Šance, konečná	7:20	Návsí, železniční stanice	7:47	12,4	27	163.2	vyčkat vlak v Návsí železniční stanice
860242	9	Radvanov, konečná	7:08	Jablunkov, AS	7:14	2,3	6	164.2	
860248	7	Jablunkov, Lísky, konečná	7:24	Jablunkov, AS	7:34	3,3	10		jede přes Školní ulici
860247	14	Milíkov, pila	7:22	Jablunkov, poliklinika	7:43	7,5	21	165.2	
860243	126	Návsí, železniční stanice	7:00	Bukovec, hranice	7:19	9,4	19	166.2	
860243	148	Bukovec, hranice	7:20	Bukovec, škola	7:29	4	9		
860243	45	Bukovec, škola	7:30	Návsí, železniční stanice	7:52	8,2	22		jede přes Školní ulici
860243	35	Bukovec, škola	7:05	Jablunkov, AS	7:25	6,7	20	167.2	

Po zmapování množiny spojů realizujících svoz žáků do škol a vyhledání základních časových údajů o uvedených spojích je při řešení nutno určit intervaly, ve kterých bude možno se spoji posunovat v čase. Nejdříve budou uvedena základní pravidla pro určování intervalů.

Jak je z tab. č. 2 patrné, je k realizaci 18 řešených spojů určeno 12 vozidel. Uvedenou informaci je možno ověřit ve sloupci s názvem *Číslo turnusového příkazu*.

#### Základní pravidla pro určování intervalů pro posuny spojů

Při určování intervalů pro posuny spojů musí být zohledněna všechna limitující omezení. Může se totiž stát, že v důsledku nevhodně stanovené šířky intervalů bude narušena některá významná vazba, např. přestupní vazba, nebo zkomplikován svoz či odvoz obyvatel do zaměstnání apod. V případě Jablunkovska, které leží ve spádovém území průmyslového města Třinec, to může při optimalizaci ranního svozu žáků nastat velmi často.

Prvním limitujícím faktorem tedy bude, aby při stanovení intervalů pro posun spojů nenastaly v turnusových příkazech, které přicházejí v úvahu, takové změny v časových polohách spojů nacházejících se před a po spoji zajišťujícím svoz žáků, které by narušily předchozí svoz či rozvoz obyvatelstva do a ze zaměstnání. Pro potřeby vykrytí nepravidelností v provozu, které způsobují zpoždění, bude po každém spoji uvažováno s 2 minutami rezervy, tato zásada bude zachována i v tom případě, že se v současném turnusovém příkazu vyskytuje rezerva kratší. Uvažování dvouminutové rezervy není pochopitelně dogma, velikost časové rezervy se může měnit, např. v závislosti na délce spoje nebo parametrech provozu, kterým je vedení spoje dotčeno.

Dále musí být stanoveno období optimalizace. To je ohraničeno časem nejdříve možných a nejpozději přípustných příjezdů spojů zajišťujících svoz ke školským zařízením. Pro potřeby diplomové práce je uvažováno, že období optimalizace začíná v 6:45 a končí v 8:45. To tedy znamená, že nejdříve možným časem příjezdu spojů ke školským zařízením je čas 6:45, nejpozději přípustným časem příjezdů spojů ke školským zařízením je čas 8:45. Je-li uvažováno s dobou následného přesunu žáků z výstupní zastávky spoje v blízkosti školského zařízení do areálu školského zařízení

(včetně přípravy na vyučování) ve výši 15 min, znamená to, že nejdříve možný začátek vyučování nastává v 7:00 a nejpozději přípustný začátek nastává v 9:00, což je reálná doba.

V dalším textu budou obsaženy informace vedoucí ke stanovení intervalů pro posuny spojů.

*Linka č. 860241, spoj č. 8 - turnusový příkaz řidiče č 146.2*

Původní poloha spoje:

Mosty u Jablunkova, státní hranice 7:10 – Mosty u Jablunkova, obecní úřad 7:18

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Mosty u Jablunkova, státní hranice v 7:00.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posunovanému spoji je v 6:49, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 6:51.

Spoj přijede do zastávky Mosty u Jablunkova, obecní úřad nejdříve v 6:59.

Spoj musí do zastávky Mosty u Jablunkova, obecní úřad přijet nejpozději v 8:45

*Linka č. 860245, spoj č. 23 - turnusový příkaz řidiče č 146.2*

Původní poloha spoje:

Mosty u Jablunkova, obecní úřad 7:20 – Jablunkov, autobusové stanoviště 7:35

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Mosty u Jablunkova, obecní úřad v 7:18.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 6:59, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:01.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště nejdříve v 7:16.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860243, spoj č. 39 - turnusový příkaz řidiče číslo 147.2*

Původní poloha spoje:

Bukovec, škola 7:20 – Návsí, železniční stanice 7:44

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Bukovec, škola v 7:11.

Neuplatní se posun spoje číslo 22 s odjezdem ze zastávky TŽ Válcovna C v 6:10 z důvodu odvozu pracujících z průmyslových podniků.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:11, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:13.

Spoj přijede do zastávky Návsí, železniční stanice nejdříve v 7:37.  
Spoj musí do zastávky Návsí, železniční stanice přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860246, spoj č. 9 - turnusový příkaz řidiče č 148.2*

Původní poloha spoje

Návsí, železniční stanice 7:02 – Jablunkov, autobusové stanoviště 7:24

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Návsí, železniční stanice v 7:02.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 6:49, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 6:51.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště nejdříve v 7:13.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860246, spoj č. 28 - turnusový příkaz řidiče č 148.2*

Původní poloha spoje:

Jablunkov, autobusové stanoviště 7:25 – Mosty u Jablunkova, obecní úřad 7:43

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště v 7:24.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:13, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:15.

Spoj přijede do zastávky Mosty u Jablunkova, obecní úřad nejdříve v 7:33.

Spoj musí do zastávky Mosty u Jablunkova, obecní úřad přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860243, spoj č. 44 - turnusový příkaz řidiče č 151.2*

Původní poloha spoje:

Třinec, autobusové stanoviště 7:35 – Jablunkov, autobusové stanoviště 8:00

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Třince, autobusové stanoviště v 7:35.

Neuplatní se posun spoje číslo 15 s odjezdem ze zastávky Jablunkov AS v 6:45, tento spoj má přípoj v zastávce Milíkov, pila.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:35, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:37.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště nejdříve v 8:02.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště přijet nejpozději v 8:45.



*Linka č. 860244, spoj č. 11 - turnusový příkaz řidiče č 155.2*

Původní poloha spoje:

Dolní Lomná, Jestřábí potok 7:00 – Třinec, autobusové stanoviště 7:40

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Dolní Lomná, Jestřábí potok v 6:50.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 6:43, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 6:45.

Spoj přijede do zastávky Třince, autobusové stanoviště nejdříve v 7:25.

Spoj musí do zastávky Třinec, autobusové stanoviště přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860243, spoj č. 38 - turnusový příkaz řidiče č 160.2*

Původní poloha spoje:

Jablunkov, autobusové stanoviště 7:25 – Bukovec, škola 7:41

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště v 7:25.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:16, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:18.

Spoj přijede do zastávky Bukovec, škola nejdříve v 7:34.

Spoj musí do zastávky Bukovec, škola přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860240, spoj č. 10 - turnusový příkaz řidiče č 162.2*

Původní poloha spoje:

Návsí, železniční stanice 7:05 – Jablunkov, točna 7:19

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Návsí, železniční stanice v 6:58.

Neuplatní se posun spoje číslo 14 s odjezdem ze zastávky Návsí železniční stanice v 6:00 z důvodu přípoje vlaku.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 6:57, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 6:59.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, točna nejdříve v 7:13.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, točna přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860240, spoj č. 13 - turnusový příkaz řidiče č 162.2*

Původní poloha spoje:

Jablunkov, točna 7:20 – Jablunkov, autobusové stanoviště 7:31

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Jablunkov, točna v 7:19.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:13, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:15.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště nejdříve v 7:26.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860251, spoj č. 25 - turnusový příkaz řidiče č 163.2*

Původní poloha spoje:

Mosty u Jablunkova, Šance, konečná 7:20 – Návsí, železniční stanice 7:47

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Mosty u Jablunkova, Šance, konečná v 7:17.

Neuplatní se posun spoje číslo 18 s odjezdem ze zastávky TŽ Válcovna C 6:10 z důvodu odvozu pracujících z průmyslových podniků.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:17, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:19.

Spoj přijede do zastávky Návsí, železniční stanice nejdříve v 7:46.

Spoj musí do zastávky Návsí, železniční stanice přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860242, spoj č. 9 - turnusový příkaz řidiče č 164.2*

Původní poloha spoje:

Rdvanov, konečná 7:08 – Jablunkov, autobusové stanoviště 7:14

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Radvanov konečná v 7:06.

Neuplatní se posun spoje číslo 6 s odjezdem ze zastávky Návsí železniční stanice v 7:00 z důvodu přípoje vlaku.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:06, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:08.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště nejdříve v 7:14.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860248, spoj č. 7 - turnusový příkaz řidiče č 164.2*

Původní poloha spoje:

Jablunkov, Lísky, konečná 7:24 – Jablunkov, autobusové stanoviště 7:34

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Jablunkov, Lísky, konečná v 7:24.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:25, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:27.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště nejdříve v 7:37.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860247, spoj č. 14 - turnusový příkaz řidiče č 165.2*

Původní poloha spoje:

Milíkov, pila 7:22 – Jablunkov, poliklinika 7:43

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Milíkov, pila v 7:17.

Neuplatní se posun spoje číslo 8 s odjezdem ze zastávky TŽ Válcovna C v 6:10 z důvodu odvozu pracujících z průmyslových podniků.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:17, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:19.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, poliklinika nejdříve v 7:40.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, poliklinika přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860243, spoj č. 126 - turnusový příkaz řidiče č 166.2*

Původní poloha spoje:

Návsí, železniční stanice 7:00 – Bukovec, hranice 7:19

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Návsí, železniční stanice v 6:40.

Neuplatní se posun spoje číslo 126 s odjezdem ze zastávky Návsí železniční stanice v 7:00 z důvodu přípoje vlaku.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 6:40, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:00.

Spoj přijede do zastávky Bukovec hranice nejdříve v 7:19.

Spoj musí do zastávky Bukovec hranice přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860243, spoj č. 148 - turnusový příkaz řidiče č 166.2*

Původní poloha spoje:

Bukovec, hranice 7:20 – Bukovec, škola 7:29

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Bukovec, hranice v 7:19.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:19, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:21.

Spoj přijede do zastávky Bukovce škola nejdříve v 7:30.

Spoj musí do zastávky Bukovce škola přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860243, spoj č. 45 - turnusový příkaz řidiče č 166.2*

Původní poloha spoje:

Bukovec, škola 7:30 – Návsí, železniční stanice 7:52

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Bukovec škola v 7:29.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 7:30, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 7:32.

Spoj přijede do zastávky Návsí, železniční stanice nejdříve v 7:54.

Spoj musí do zastávky Návsí, železniční stanice přijet nejpozději v 8:45.

*Linka č. 860243, spoj č. 35 - turnusový příkaz řidiče č 167.2*

Původní poloha spoje:

Bukovec, škola 7:05 – Jablunkov, autobusové stanoviště 7:25

Čas příjezdu předcházejícího spoje do zastávky Bukovec, škola v 7:01.

Nejdříve možný příjezd spoje bezprostředně předcházejícího posuzovanému spoji je v 6:38, nejdříve možný odjezd spoje je tedy v 6:40.

Spoj přijede do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště nejdříve v 7:00.

Spoj musí do zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště přijet nejpozději v 8:45.

Souhrnné informace o jednotlivých časových posunech spojů jsou uvedeny v následující tab. č. 3.

Tab. č. 3

Číslo linky	Číslo spoje	Číslo turnusového příkazu	Čas původního odjezdu	Čas nejdříve možného odjezdu	Čas nejpozději přípustného odjezdu	Možnosti posunu		Celková délka intervalu pro posun
						(-)	(+)	
860241	8	146.2	7:10	6:51	8:20	19	70	89
860245	23		7:20	7:01	8:30	19	70	89
860243	39	147.2	7:20	7:13	8:21	7	61	68
860246	9	148.2	7:02	6:51	8:03	11	61	72
860245	28		7:25	7:15	8:27	10	62	72
860243	44	151.2	7:35	7:35	8:20	0	45	45
860244	11	155.2	7:00	6:45	8:05	15	65	80
860243	38	160.2	7:25	7:18	8:29	7	64	71
860240	10	162.2	7:05	6:59	8:18	6	73	79
860240	13		7:20	7:15	8:34	5	74	79
860245	25	163.2	7:20	7:19	8:18	1	58	59
860242	9	164.2	7:08	7:08	8:16	0	68	68
860248	7		7:24	7:24	8:35	0	71	71
860247	14	165.2	7:22	7:19	8:24	3	62	65
860243	126	166.2	7:00	7:00	7:51	0	51	51
860243	148		7:20	7:20	8:12	0	52	52
860243	45		7:30	7:30	8:23	0	53	53
860243	35	167.2	7:05	6:40	8:25	25	80	105

Poslední skupinou podkladů, které je zapotřebí mít k dispozici, jsou přejezdové doby mezi koncovými a výchozími zastávkami jednotlivých spojů. Přejezdové doby prázdných vozidel se stanoví z délek tras, které mají jednotlivá vozidla při přejezdech překonat, a z průměrné rychlosti jízdy. Přejezdové doby jsou znázorněny v tab. č. 4. Přejezdové doby jsou zaokrouhleny na celé minuty, při zaokrouhlování byly hodnoty zaokrouhlovány vždy nahoru.

Tab. č. 4

<b>min</b>	<b>Mosty u J., Šance, konečná</b>	<b>Mosty u J., st. hr.</b>	<b>Mosty u J., obec. úr</b>	<b>D. Lomná, Jestř.</b>	<b>Bukovec, hranice</b>	<b>Bukovec, škola</b>	<b>Jablunkov, točna</b>
<b>Mosty u J., Šance, konečná</b>	0	4	6	20	26	26	23
<b>Mosty u J., st. hr.</b>	4	0	5	18	27	27	17
<b>Mosty u J., obec. úr</b>	6	5	0	13	20	21	13
<b>D. Lomná, Jestř potok</b>	20	18	13	0	20	21	13
<b>Bukovec, hranice</b>	26	27	20	20	0	3	10
<b>Bukovec, škola</b>	26	27	21	21	3	0	10
<b>Jablunkov, točna</b>	23	17	13	13	10	10	0
<b>Jablunkov, Lísky, kon.</b>	21	19	15	15	12	12	8
<b>Jablunkov, pol.</b>	16	14	10	10	11	11	4
<b>Jablunkov, AS</b>	17	16	11	11	10	11	3
<b>Radvanov, konec</b>	20	18	14	14	13	14	6
<b>Návsí, žel. st.</b>	19	17	13	13	12	12	5
<b>Milíkov, pila</b>	22	20	16	15	19	20	12
<b>Třinec, AS</b>	38	36	32	32	32	32	24

<b>min</b>	<b>Jablunkov, Lísky, kon.</b>	<b>Jablunkov, pol.</b>	<b>Jablunkov, AS</b>	<b>Radvanov, konec</b>	<b>Návsí, žel. st.</b>	<b>Milíkov, pila</b>	<b>Třinec, AS</b>
<b>Mosty u J., Šance, konečná</b>	21	16	17	20	19	22	38
<b>Mosty u J., st. hr.</b>	19	14	16	18	17	20	36
<b>Mosty u J., obec. úr</b>	15	10	11	14	13	16	32
<b>D. Lomná, Jestř potok</b>	15	10	12	14	13	15	32
<b>Bukovec, hranice</b>	12	11	10	13	12	19	32
<b>Bukovec, škola</b>	12	11	11	14	12	20	32
<b>Jablunkov, točna</b>	8	4	3	6	5	12	24
<b>Jablunkov, Lísky, kon.</b>	0	5	6	9	7	13	27
<b>Jablunkov, pol.</b>	5	0	2	5	3	10	23
<b>Jablunkov, AS</b>	6	2	0	4	3	10	22
<b>Radvanov, konec</b>	9	5	4	0	5	12	24
<b>Návsí, žel. st.</b>	7	3	3	5	0	9	20
<b>Milíkov, pila</b>	13	10	10	12	9	0	18
<b>Třinec, AS</b>	27	23	22	24	20	18	0

## 5.2 Realizace optimalizačního výpočtu

Matematické modely, které jsou uvedeny v podkapitole 4. 1, budou na základě vstupních hodnot připravených v podkapitole 5. 1 následně řešeny ve vhodném optimalizačním software. Pro řešení úlohy bude použit optimalizační software Xpress-IVE.

V diplomové práci byla původně zamýšlena realizace dvou experimentů, plánovaná struktura experimentů však byla po jejich realizaci ještě doplněna o jeden dodatečný experiment. Zdůvodnění zařazení doplňujícího experimentu bude provedeno na závěr podkapitoly 5. 2. 2.

### 5.2.1 Experiment č. 1

Cílem tohoto experimentu bude minimalizovat počet vozidel, která budou k obsluze spojů vypravena

Po ukončení výpočtu v optimalizačním software Xpress-IVE byly získány následující výsledky:

Počet vypravených vozidel je: 4

$X(1) = 0$	$X(10) = 29$	$Y(0,1) = 1$	$Y(7,6) = 1$
$X(2) = 65$	$X(11) = 59$	$Y(0,3) = 1$	$Y(8,17) = 1$
$X(3) = 0$	$X(12) = 0$	$Y(0,12) = 1$	$Y(9,4) = 1$
$X(4) = 31$	$X(13) = 20$	$Y(0,18) = 1$	$Y(10,2) = 1$
$X(5) = 39$	$X(14) = 0$	$Y(1,14) = 1$	$Y(12,7) = 1$
$X(6) = 45$	$X(15) = 86$	$Y(2,16) = 1$	$Y(13,5) = 1$
$X(7) = 41$	$X(16) = 71$	$Y(3,13) = 1$	$Y(14,10) = 1$
$X(8) = 30$	$X(17) = 34$	$Y(4,8) = 1$	$Y(17,15) = 1$
$X(9) = 4$	$X(18) = 0$	$Y(5,11) = 1$	$Y(18,9) = 1$

Hodnoty proměnných  $x$  uvedených ve výpisu modelují posuny jednotlivých spojů vůči nejdříve možným časovým polohám určeným v podkapitole 5. 1. Hodnoty



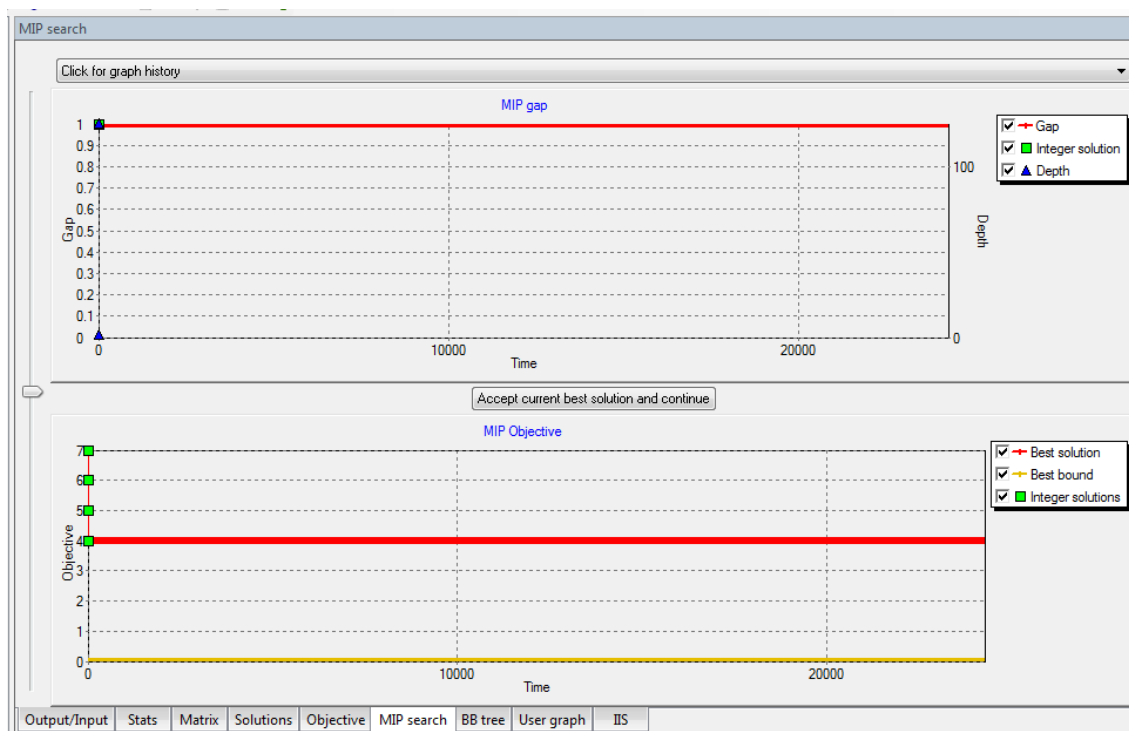
proměnných  $y$  modelují rozhodnutí o uskutečnění přejezdu vozidla neobsazeného cestujícími po obsluze spoje  $j$  k obsluze spoje  $k$ .

Při minimalizaci počtu nasazených vozidel byla získána hodnota 4. Následnou kontrolou v záložce s názvem „Stats“ bylo zjištěno, že optimalizační výpočet neproběhl až do konce a skončil po 24 291,2 s od okamžiku jeho zahájení, viz obr. č. 3.

Stats			
<b>Matrix:</b>		<b>Presolved:</b>	
Rows(constraints):	342	Rows(constraints):	341
Columns(variables):	360	Columns(variables):	341
Nonzero elements:	1548	Nonzero elements:	1543
Global entities:	342	Global entities:	323
Sets:	0	Sets:	0
Set members:	0	Set members:	0
Overall status: <b>Performing LP relaxation...</b>			
<b>LP relaxation:</b>		<b>Global search:</b>	
<b>Algorithm:</b>	<b>Simplex primal</b>	Current node:	1114103
Simplex iterations:	48	Depth:	53
Objective:	0	Active nodes:	497607
Status:	Unfinished	Best bound:	0
Time:	0.3s	Best solution:	4
		Gap:	100%
		Status:	4 integer solution(s) found...
		Time:	24291.2s
<b>Time overheads:</b>			
Progress graphs:	0.1s		
Writing output:	0.0s		
Pausing:	0.0s		
Updating status:	23353.3s		
Output/Input	Stats	Matrix	Solutions
Objective	MIP search	BB tree	User graph
IIS			

Obr. č. 3 Záložka „Stats“ v programu Xpress-IVE po ukončení výpočetního experimentu č. 1

Průběh optimalizačního výpočtu lze dále dokumentovat grafickým výstupem získaným v záložce s názvem „MIP search“ viz obr. č. 4.



Obr. č. 4 Záložka „MIP search“ v programu Xpress-IVE po ukončení výpočetního experimentu č. 1

Z údajů uvedených na záložce je patrné, že dolní odhad hodnoty účelové funkce a horní odhad hodnoty účelové funkce nejsou po skončení optimalizačního výpočtu totožné. Nelze tedy jednoznačně říci, že po ukončení výpočtu bylo nalezeno optimální řešení. Nicméně je možno alespoň konstatovat, že bylo nalezeno řešení výrazně lepší (4 vozidla) než je v současném stavu, kde je ke svozu zapotřebí 12 vozidel. I když tedy optimalizační výpočet neskončil stavem, který byl očekáván, došlo ke snížení počtu vozidel použitých ke svozu o 8.

Za účelem srovnání výsledků experimentu č. 1 s výsledky experimentu č. 2 bude dohledán celkový počet neproduktivně ujetých kilometrů, který není v hodnotě účelové funkce explicitně vyjádřen. Počet neproduktivně ujetých kilometrů lze zjistit poměrně jednoduše tak, že se sečtou hodnoty prvků  $r_{jk}$ , u kterých hodnota proměnné  $y_{jk}=1$ . Počet neproduktivně ujetých kilometrů činil v případě řešení získaného na základě provedeného experimentu č. 1 46,3 km.

### 5.2.2 Experiment č. 2

Model při experimentu č. 2 je téměř totožný s modelem použitým v případě experimentu č. 1. Obsahuje totiž stejné podmínky, liší se však v účelové funkci, která je rozšířena o člen vyjadřující neproduktivně ujetou vzdálenost vozidly neobsazenými cestujícími při přejezdech mezi konečnými zastávkami. Cílem experimentu je minimalizovat počet použitých vozidel současně s minimalizací počtu neproduktivně ujetých kilometrů.

Řešením modelu v optimalizačním software Xpress-IVE byly získány následující výsledky:

HÚF: 400 012

$X(1) = 0$	$X(10) = 79$	$Y(0,1) = 1$	$Y(8,17) = 1$
$X(2) = 0$	$X(11) = 31$	$Y(0,7) = 1$	$Y(9,10) = 1$
$X(3) = 46$	$X(12) = 12$	$Y(0,14) = 1$	$Y(11,9) = 1$
$X(4) = 92$	$X(13) = 21$	$Y(0,18) = 1$	$Y(12,5) = 1$
$X(5) = 11$	$X(14) = 0$	$Y(1,2) = 1$	$Y(13,8) = 1$
$X(6) = 0$	$X(15) = 3$	$Y(2,12) = 1$	$Y(14,13) = 1$
$X(7) = 10$	$X(16) = 30$	$Y(3,4) = 1$	$Y(15,16) = 1$
$X(8) = 49$	$X(17) = 53$	$Y(5,11) = 1$	$Y(16,3) = 1$
$X(9) = 81$	$X(18) = 0$	$Y(7,6) = 1$	$Y(18,15) = 1$

Hodnota účelové funkce po ukončení optimalizačního výpočtu činila 400 012. Při interpretaci hodnoty je nutno mít na paměti, že vznikla jako součet dvou dílčích hodnot vyjadřujících počet vozidel a počet neproduktivně ujetých kilometrů. Jak již bylo výše uvedeno, je do členu vyjadřujícího celkový počet vozidel zahrnuta hodnota prohibitivní konstanty, která má za úkol zvýšit váhu tohoto členu v porovnání s druhým členem účelové funkce. Hodnota prohibitivní konstanty v případě experimentu č. 2 byla zvolena ve výši  $M = 100\,000$ . Hodnotu účelové funkce je po ukončení výpočtu nutno interpretovat tak, že k obsluze spojů byla vybrána 4 vozidla (tomu v účelové funkci odpovídá člen s hodnotou 400 000), počet neproduktivně ujetých kilometrů činil 12 denně.

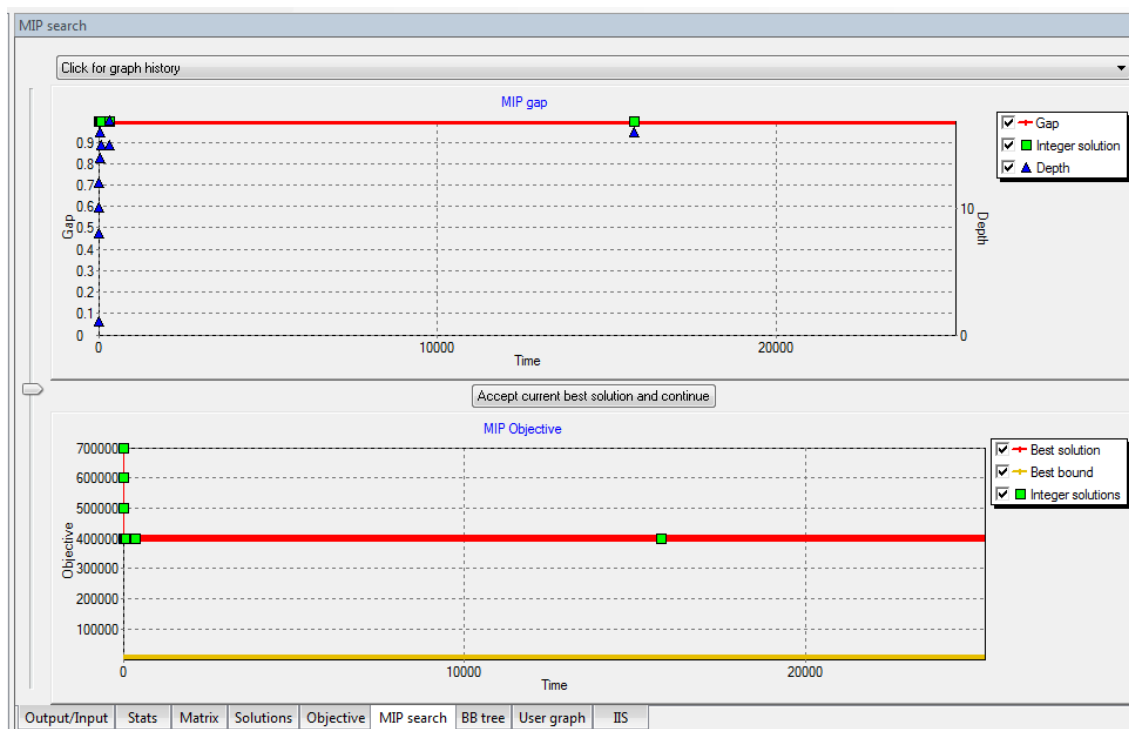
Význam hodnot jednotlivých proměnných je stejný jako u výpočetního experimentu č. 1.

Při minimalizaci hodnoty účelové funkce zahrnující jak počet nasazených vozidel, tak celkový počet neproduktivně ujetých kilometrů výpočet opět nedospěl do standardně očekávaného konce. Následnou kontrolou v záložce s názvem „Stats“ bylo zjištěno, že optimalizační výpočet skončil po 25 265,9 s od jeho zahájení, viz obr. č. 5.

Stats			
<b>Matrix:</b>		<b>Presolved:</b>	
Rows(constraints):	342	Rows(constraints):	341
Columns(variables):	360	Columns(variables):	341
Nonzero elements:	1548	Nonzero elements:	1543
Global entities:	342	Global entities:	323
Sets:	0	Sets:	0
Set members:	0	Set members:	0
Overall status: <b>Performing LP relaxation...</b>			
<b>LP relaxation:</b>		<b>Global search:</b>	
<b>Algorithm:</b>	<b>Simplex dual</b>	Current node:	1114103
Simplex iterations:	106	Depth:	36
Objective:	42	Active nodes:	505844
Status:	Unfinished	Best bound:	52.0206
Time:	0.5s	Best solution:	400012
		Gap:	99.987%
		Status:	16 integer solution(s) found...
		Time:	25265.9s
<b>Time overheads:</b>			
Progress graphs:	0.1s		
Writing output:	0.0s		
Pausing:	0.0s		
Updating status:	24044.4s		
Output/Input	Stats	Matrix	Solutions
Objective	MIP search	BB tree	User graph
IIS			

Obr. č. 5 Záložka „Stats“ v programu Xpress-IVE po ukončení výpočetního experimentu č. 2

Průběh optimalizačního výpočtu lze dále dokumentovat grafickým výstupem získaným v záložce s názvem „MP search“, viz obr. č. 6.



Obr. č. 6 Záložka „MIP search“ v programu Xpress-IVE po ukončení výpočetního experimentu č. 2

Z údajů uvedených na záložce je patrné, že dolní odhad hodnoty účelové funkce a horní odhad hodnoty účelové funkce opět nejsou po skončení optimalizačního výpočtu totožné. Nelze tedy opět jednoznačně říci, že bylo nalezeno optimální řešení, nicméně, analogicky jako v předchozím případě, je možno alespoň konstatovat, že bylo nalezeno řešení výrazně lepší (4 vozidla a celkovém počtu neproduktivně ujetých kilometrů 12 denně), než je v současném stavu, kde je ke svozu zapotřebí 12 vozidel. I když tedy optimalizační výpočet neskončil stavem, který je standardně očekáván, došlo k poklesu počtu vozidel potřebných ke svozu v současném stavu o 8, analogicky jako v předchozím experimentu.

Při zohlednění druhého členu v účelové funkci tedy došlo ke snížení počtu neproduktivně ujetých kilometrů o 34,3 km denně

Na základě skutečnosti, že ani u jednoho z plánovaných experimentů č. 1 a 2 neproběhl optimalizační výpočet až do standardního konce, byl nad rámec plánovaných

experimentů proveden ještě výpočetní experiment č. 3. Výsledky uvedeného experimentu jsou shrnuty v následující podkapitole.

### 5.2.3 Experiment č. 3

U výpočetního experimentu č. 3 bylo optimalizační kritérium tvořeno pouze celkovým počtem neproduktivně ujetých kilometrů, soustava omezujících podmínek byla doplněna o omezující podmínku, která v obecném tvaru zajišťovala, že k obsluze spojů bude použit dopředu definovaný počet vozidel. Cílem optimalizace bylo hodnotu účelové funkce minimalizovat. V uvedeném experimentu byl počet vozidel zafixován na hodnotě 4.

Optimalizačním software Xpress-IVE byly získány následující výsledky:

Počet ujetých kilometrů je: 11,33 km

$X(1) = 91$	$X(10) = 79$	$Y(0,7) = 1$	$Y(9,10) = 1$
$X(2) = 89$	$X(11) = 0$	$Y(0,11) = 1$	$Y(11,15) = 1$
$X(3) = 68$	$X(12) = 0$	$Y(0,14) = 1$	$Y(12,4) = 1$
$X(4) = 29$	$X(13) = 21$	$Y(0,18) = 1$	$Y(13,5) = 1$
$X(5) = 40$	$X(14) = 0$	$Y(1,2) = 1$	$Y(14,13) = 1$
$X(6) = 0$	$X(15) = 46$	$Y(4,8) = 1$	$Y(15,16) = 1$
$X(7) = 10$	$X(16) = 45$	$Y(5,1) = 1$	$Y(16,3) = 1$
$X(8) = 24$	$X(17) = 28$	$Y(7,6) = 1$	$Y(17,9) = 1$
$X(9) = 81$	$X(18) = 0$	$Y(8,17) = 1$	$Y(18,12) = 1$

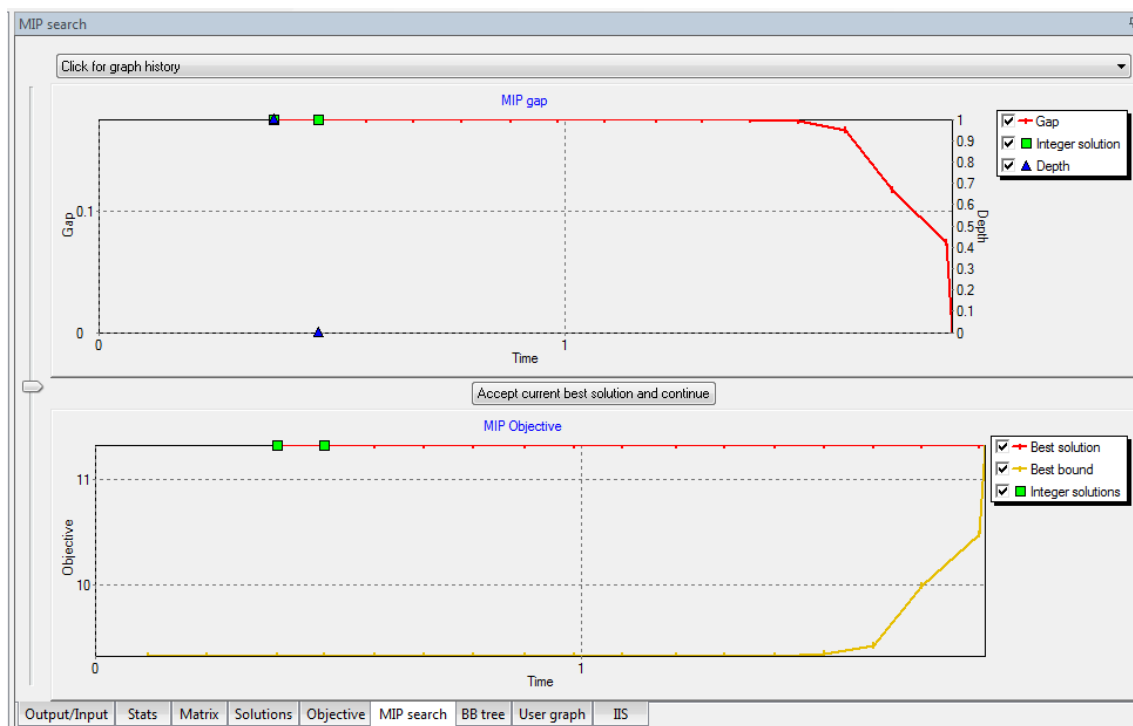
Význam hodnot proměnných je totožný jako u experimentů č. 1 a 2.

Při minimalizaci počtu neproduktivně ujetých kilometrů byla získána hodnota 11,33 km denně. Následnou kontrolou v záložce s názvem „Stats“ bylo zjištěno, že optimalizační výpočet skončil po 1,8 s od jeho zahájení s konstatováním, že řešení je optimální, viz obr. č. 7.

Stats			
<b>Matrix:</b>		<b>Presolved:</b>	
Rows(constraints):	343	Rows(constraints):	342
Columns(variables):	360	Columns(variables):	341
Nonzero elements:	1566	Nonzero elements:	1561
Global entities:	342	Global entities:	323
Sets:	0	Sets:	0
Set members:	0	Set members:	0
Overall status: <b>Finished global search.</b>			
<b>LP relaxation:</b>		<b>Global search:</b>	
<b>Algorithm:</b>	<b>Simplex primal</b>	Current node:	1241
Simplex iterations:	80	Depth:	10
Objective:	9.33333	Active nodes:	0
Status:	Unfinished	Best bound:	11.3333
Time:	0.1s	Best solution:	11.3333
		Gap:	0%
		Status:	Solution is optimal.
		Time:	1.8s
<b>Time overheads:</b>			
Progress graphs:	0.2s		
Writing output:	0.0s		
Pausing:	0.0s		
Updating status:	0.2s		
Output/Input	Stats	Matrix	Solutions
		Objective	MIP search
		BB tree	User graph
			IIS

Obr. č. 7 Záložka „Stats“ v programu Xpress-IVE po ukončení výpočetního experimentu č. 3

Průběh optimalizačního výpočtu lze dále dokumentovat grafickým výstupem získaným v záložce s názvem „MIP search“, viz obr. č. 8.



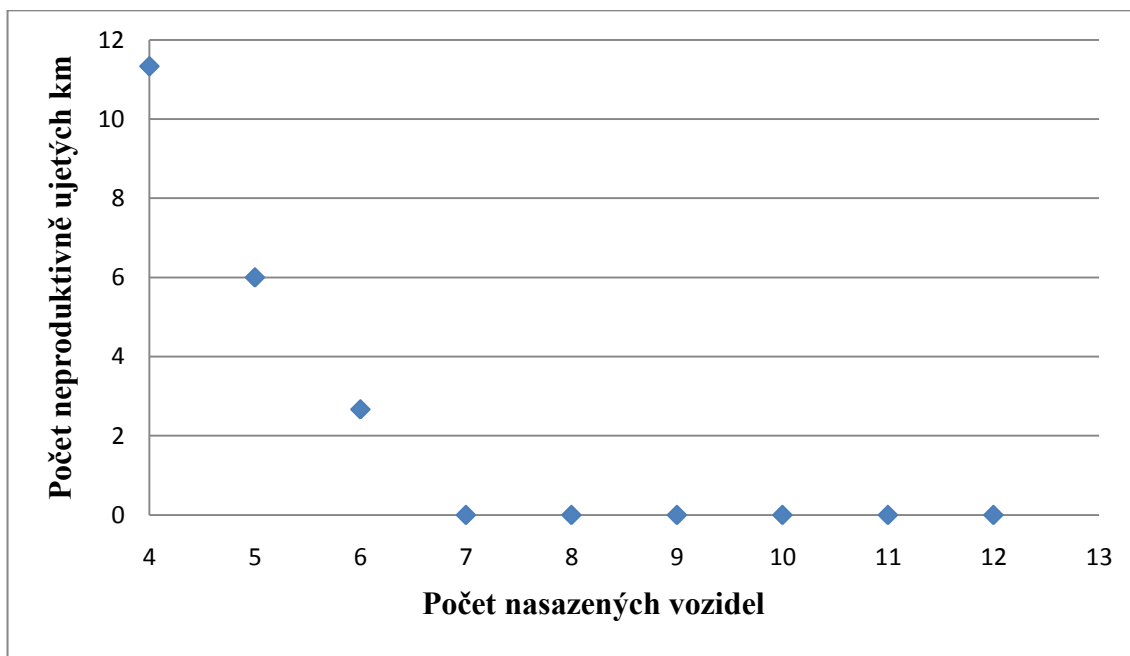
Obr. č. 8 Záložka „MIP search“ v programu Xpress-IVE po ukončení výpočetního experimentu č. 3

Z údajů uvedených na záložce je patrné, že dolní odhad hodnoty účelové funkce a horní odhad hodnoty účelové funkce jsou po skončení optimalizačního výpočtu totožné. Proto lze konstatovat, že výpočet byl ukončen standardním způsobem a nalezené řešení lze prohlásit za optimální.

V poslední skupině experimentů byly za účelem získání komplexnosti prováděny i další experimenty, při kterých definované počty vozidel nabývaly celočíselných hodnot z intervalů  $\langle 1; 3 \rangle$  a  $\langle 5; 12 \rangle$ . Pro hodnotu 4 již byl proveden experiment, hodnota 12 odpovídá současnému počtu vozidel potřebných pro zajištění svozu. První interval je do skupiny experimentů zařazený z důvodu zjištění, zda se nepodaří výpočet standardně ukončit při nižším počtu vozidel než 4. Druhý interval je do skupiny experimentů zařazen z důvodu zjištění, jakým způsobem se bude vyvíjet počet neproduktivně ujetých kilometrů v závislosti na počtu nasazených vozidel. Navíc se může při zvyšování počtu vozidel ukázat, že bude nalezeno řešení s nulovým počtem neproduktivně ujetých kilometrů i při nižším počtu vozidel než 12. Optimalizačním kritériem ve všech těchto experimentech byl pouze celkový počet neproduktivně ujetých kilometrů.



V případě prvního intervalu nebyl výpočet standardně ukončen ani v jednom z případů, nepodařilo se tedy ani tímto postupem snížit počet vozidel potřebných ke svozu. Hodnoty účelových funkcí pro jednotlivé zafixované počty vozidel (počínaje hodnotou 4) jsou znázorněny v grafu na obr. č. 9.



Obr. č. 9 Graf srovnávající zafixované hodnoty v experimentu č. 3

Z grafu uvedeného na obr. č. 9 je patrné, že od definovaného počtu 7 vozidel jsou k dispozici řešení, při kterých nevznikají dopravci při organizaci svozu žáků do škol žádné neproduktivně ujeté kilometry. Není-li pro dopravce přijatelné vykazování neproduktivně ujetých kilometrů při přejezdech vozidel mezi konečnými zastávkami za účelem snížení počtu vozidel při svozu žáků do škol, dosáhne tohoto stavu v situaci, nasadí-li ke svozu 7 vozidel.

## 6 Zhodnocení dosažených výsledků

Předložená práce se zabývá optimalizací časových poloh spojů při svozu žáků do škol v oblasti Jablunkova a jeho blízkého okolí. Svoz je navrhován pro dopravní špičku vznikající v současném období v časovém rozmezí od 7:30 do 8:00 hodin.

### 6.1 Zhodnocení experimentu z hlediska změny polohy spojů v čase

Protože cestující veřejnost přistupuje k případným změnám časových poloh spojů zpravidla poměrně kriticky, je dobré z hlediska hodnocení praktické uplatnitelnosti navržených řešení analyzovat, jak významné časové posuny se po optimalizaci v navrženém řešení vyskytnou. Za tím účelem bude v každé hodnotící podkapitole identifikováno, do jaké míry k těmto posunům dochází. Nejlépe je míru posunů spojů znázornit graficky. Hodnotící graf bude zachycovat četnosti posouvaných spojů v závislosti na velikosti časového posunu. Velikost časových posunů bude vyjádřena intervalově.

#### 6.1.1 Zhodnocení experimentu č. 1

Výsledky optimalizačního výpočtu týkajícího se experimentu č. 1 jsou shrnuty v tab. č. 5.

Tab. č. 5

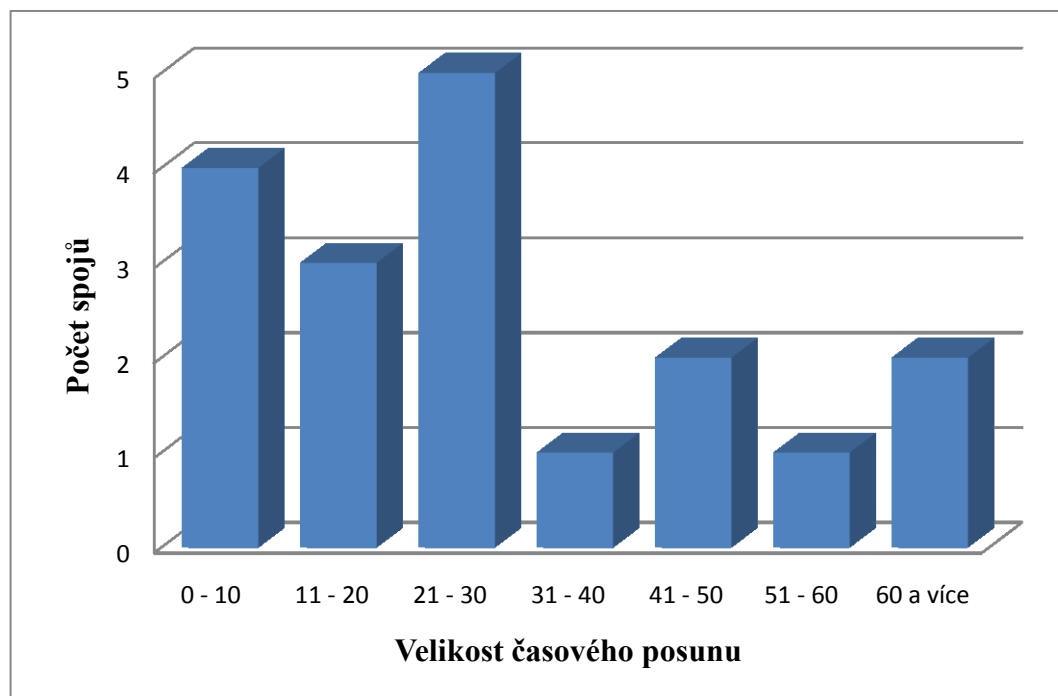
Číslo spoje	Aktuální čas odjezdu spoje z výchozí konečné zastávky	Čas odjezdu spoje po optimalizaci	Skutečný časový posun polohy spoje
1	7:10	6:51	(-) 19
2	7:20	8:06	(+) 46
3	7:20	7:13	(-) 7
4	7:02	7:22	(+) 20
5	7:25	7:54	(+) 29
6	7:35	8:20	(+) 45
7	7:00	7:26	(+) 26
8	7:25	7:48	(+) 23
9	7:05	7:03	(-) 2
10	7:20	7:44	(+) 24
11	7:20	8:18	(+) 58

12	7:08	7:08	0
13	7:24	7:44	(+) 20
14	7:22	7:19	(-) 3
15	7:00	8:26	(+) 86
16	7:20	8:31	(+) 71
17	7:30	8:04	(+) 34
18	7:05	6:40	(-) 25

Velikost časového posunu je v první řadě limitována šířkou intervalu, ve kterém se posuny spoje mohou uskutečňovat.

Největší časový posun ve srovnání s aktuální polohou se uskutečnil u spoje č. 15 (ve skutečnosti spoje č. 126 linky č. 860243), naopak nejmenší časový posun, respektive žádný se uskutečnil v případě spoje č. 12 (ve skutečnosti spoje č. 9 linky č. 860242). Průměrná velikost časového posunu u řešených spojů činila 29,89 min, směrodatná odchylka činila 26,64 min.

Četnosti posunovaných spojů v závislosti na velikosti posunů spojů podle výsledků uvedených v tab. č. 5 jsou znázorněny v grafu na obr. č. 10.



Obr. č. 10 Četnosti posunovaných spojů v závislosti na velikosti posunů v případě experimentu č. 1

Z grafu je patrné, že časový posun spoje do 20 min (což se dá očekávat, že je nejvíce akceptovatelná změna začátku vyučování) nastal v 39% z celkového počtu případů, časový posun spoje v intervalu 21 – 40 min nastal v 33 % z celkového počtu případů, časový posun nad 40 min (což může z hlediska změny začátku vyučování působit největší problémy) nastal v 28% z celkového počtu případů.

### 6.1.2 Zhodnocení experimentu č. 2

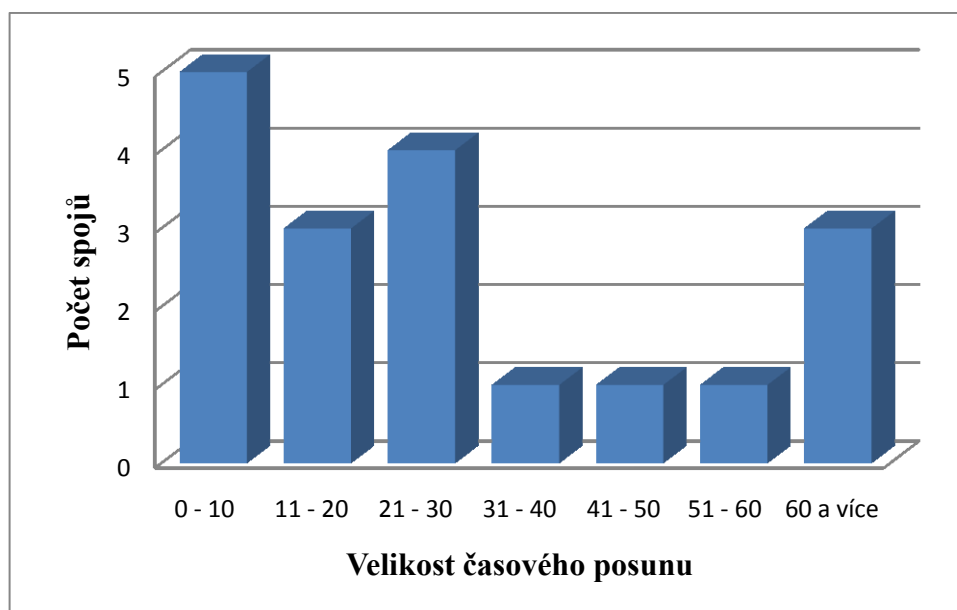
Výsledky optimalizačního výpočtu týkajícího se experimentu č. 2 jsou shrnuty v tab. č. 6.

Tab. č. 6

Číslo spoje	Aktuální čas odjezdu spoje z výchozí konečné zastávky	Čas odjezdu spoje po optimalizaci	Skutečný časový posun polohy spoje
1	7:10	6:51	(-) 19
2	7:20	7:01	(-) 19
3	7:20	7:59	(+) 39
4	7:02	8:23	(+) 81
5	7:25	7:26	(+) 1
6	7:35	7:35	0
7	7:00	6:55	(-) 5
8	7:25	8:07	(+) 42
9	7:05	8:20	(+) 75
10	7:20	8:34	(+) 74
11	7:20	7:50	(+) 30
12	7:08	7:20	(+) 12
13	7:24	7:45	(+) 21
14	7:22	7:19	(-) 3
15	7:00	7:03	(+) 3
16	7:20	7:50	(+) 30
17	7:30	8:23	(+) 53
18	7:05	6:40	(-) 25

Největší časový posun ve srovnání s aktuální polohou se uskutečnil u spoje č. 4 (ve skutečnosti spoje č. 9 linky č. 860246), naopak nejmenší časový posun, respektive žádný se uskutečnil v případě spoje č. 6 (ve skutečnosti spoje č. 44 linky č. 860243). Průměrná velikost časového posunu u řešených spojů činila 29,56 min, směrodatná odchylka činila 26,36 min.

Četnosti posunovaných spojů v závislosti na velikosti posunů spojů podle výsledků uvedených v tab. č. 6 jsou znázorněny v grafu na obr. č. 11.



Obr. č. 11 Četnosti posunovaných spojů v závislosti na velikosti posunů v případě experimentu č. 2

Z grafu je patrné, že časový posun spoje do 20 min nastal v 44% z celkového počtu případů, časový posun spoje v intervalu 21 – 40 min nastal v 28% z celkového počtu případů a časový posun nad 40 min nastal v 28% z celkového počtu případů.

### 6.1.3 Zhodnocení experimentu č. 3

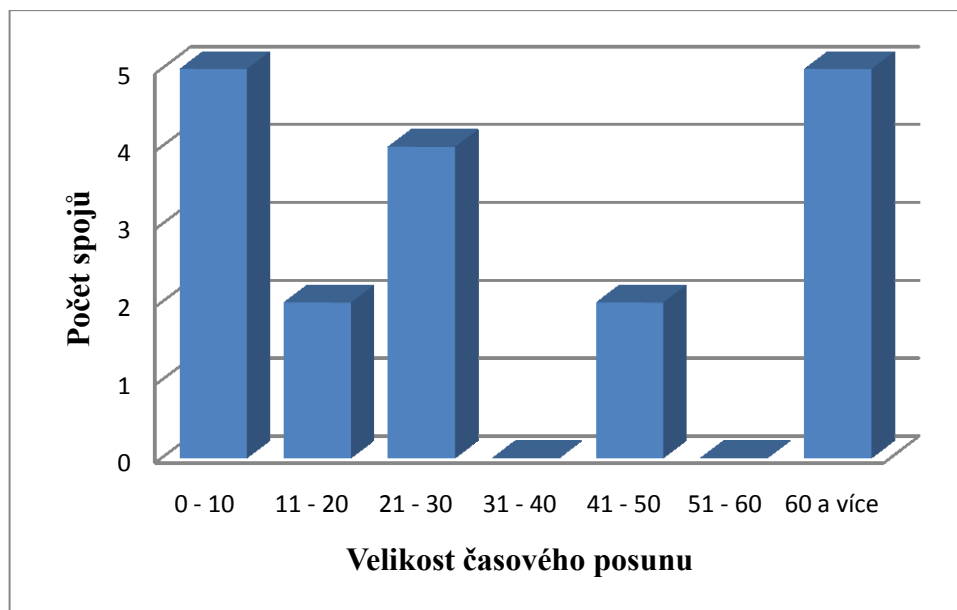
Výsledky optimalizačního výpočtu týkajícího se experimentu č. 3 jsou shrnuty v tab. č. 7.

Tab. č. 7

Číslo spoje	Aktuální čas odjezdu spoje z výchozí konečné zastávky	Čas odjezdu spoje po optimalizaci	Skutečný časový posun polohy spoje
1	7:10	8:22	(+) 72
2	7:20	8:30	(+) 70
3	7:20	8:21	(+) 61
4	7:02	7:20	(+) 18
5	7:25	7:55	(+) 30
6	7:35	7:35	0
7	7:00	6:55	(-) 5
8	7:25	7:42	(+) 17
9	7:05	8:20	(+) 75
10	7:20	8:34	(+) 74
11	7:20	7:19	(-) 1
12	7:08	7:08	0
13	7:24	7:45	(+) 21
14	7:22	7:19	(-) 3
15	7:00	7:46	(+) 46
16	7:20	8:05	(+) 45
17	7:30	7:58	(+) 28
18	7:05	6:40	(-) 25

Největší časový posun ve srovnání s aktuální polohou se uskutečnil u spoje č. 9 (ve skutečnosti spoje č. 10 linky č. 860240), naopak nejmenší časový posun, respektive žádný se uskutečnil v případě spoje číslo 6 (ve skutečnosti spoje č. 44 linky č. 860243), 12 (ve skutečnosti spoje č. 9 linky č. 860242). Průměrná velikost časového posunu u řešených spojů činila 32,83 min, směrodatná odchylka činila 27,70 min.

Četnosti posunovaných spojů v závislosti na velikosti posunů spojů podle výsledků uvedených v tab. č. 7 jsou znázorněny v grafu na obr. č. 12.



Obr. č. 12 Četnosti posunovaných spojů v závislosti na velikosti posunů v případě experimentu č. 3

Z grafu je patrné, že časový posun spoje do 20 min nastal v 39% z celkového počtu případů, časový posun spoje v intervalu 21 – 40 min nastal v 22% z celkového počtu případů a časový posun nad 40 min nastal v 39% z celkového počtu případů.

## 6.2 Doplnkové zhodnocení experimentů v případech zajišťování svozu žáků do školy více spoji

U navržených modelů je nevýhodou, že v případech, kdy svoz ke konkrétnímu školnímu zařízení realizuje více spojů, může vzniknout situace, kdy mezi časem příjezdu nejdřívejšího spoje a časem příjezdu nejpozdějšího spoje nastane značná časová prodleva. Z uvedeného důvodu bude v hodnocení řešení získaných optimalizačními výpočty provedena analýza, do jaké míry se takovéto situace po provedení optimalizace vyskytují.

Svoz žáků k jedné škole více spoji se v řešené oblasti vyskytuje ve 4 případech. Pro každý z uvedených případů bude vyhledána časová poloha nejdřívejšího spoje a časová poloha nejpozdějšího spoje před a po optimalizaci.

### 6.2.1 Zhodnocení experimentu č. 1

Současný stav a navrhovaný stav na základě výsledků provedeného experimentu č. 1 je porovnán v tab. č. 8.

Tab. č. 8

Název školního zařízení	Současný stav		Výsledky výpočetního experimentu		Změna
	Interval mezi příjezdem prvního a posledního spoje	Šířka intervalu [min]	Interval mezi příjezdem prvního a posledního spoje	Šířka intervalu [min]	
ZŠ Jablunkov	7:14 - 8:00	46	7:00 - 8:45	45	-1
Masarykova ZŠ Návsí	7:44 - 7:52	8	7:37 - 8:45	68	+60
ZŠ a MŠ Bukovec	7:29 - 7:41	12	8:04 - 8:40	36	+24
ZŠ Mosty u Jablunkova	7:18 - 7:43	25	6:59 - 8:12	13	-12

Na základě výsledků experimentu č. 1 došlo v případech dvou školských zařízení ke zkrácení délky intervalu, ve zbývajících dvou případech došlo k prodloužení délky intervalu.

### 6.2.2 Zhodnocení experimentu č. 2

Současný stav a navrhovaný stav na základě výsledků provedeného experimentu č. 2 je porovnán v tab. č. 9.

Tab. č. 9

Název školního zařízení	Současný stav		Výsledky výpočetního experimentu		Změna
	Interval mezi příjezdem prvního a posledního spoje	Šířka intervalu [min]	Interval mezi příjezdem prvního a posledního spoje	Šířka intervalu [min]	
ZŠ Jablunkov	7:14 - 8:00	46	7:00 - 8:45	105	+59
Masarykova ZŠ Návsí	7:44 - 7:52	8	8:17 - 8:45	28	+20
ZŠ a MŠ Bukovec	7:29 - 7:41	12	7:59 - 8:23	24	+12
ZŠ Mosty u Jablunkova	7:18 - 7:43	25	6:59 - 7:44	45	+20



Na základě výsledků experimentu č. 2 došlo k prodloužení intervalu v případě všech čtyř školských zařízení.

### 6.2.3 Zhodnocení experimentu č. 3

Současný stav a navrhovaný stav na základě výsledků provedeného experimentu č. 3 je porovnán v tab. č. 10.

Tab. č. 10

Název školního zařízení	Současný stav		Výsledky výpočetního experimentu		Změna
	Interval mezi příjezdem prvního a posledního spoje	Šířka intervalu [min]	Interval mezi příjezdem prvního a posledního spoje	Šířka intervalu [min]	
ZŠ Jablunkov	7:14 - 8:00	46	7:00 - 8:45	105	+59
Masarykova ZŠ Návsí	7:44 - 7:52	8	7:45 - 8:45	60	+52
ZŠ a MŠ Bukovec	7:29 - 7:41	12	7:58 - 8:14	16	+4
ZŠ Mosty u Jablunkova	7:18 - 7:43	25	8:13 - 8:30	17	-8

Na základě výsledků experimentu č. 3 došlo v jednom případě ke zkrácení délky intervalu, ve zbývajících třech případech došlo k prodloužení délky intervalu.

### 6.3 Doplnkové zhodnocení experimentu z hlediska změn v současných turnusech řidičů

V rámci experimentální části práce byly prováděny tři typy výpočetních experimentů. Po získání řešení je nutno vydat závěrečná doporučení z hlediska změn ve stávajících obězích vozidel. K závěrečným doporučením byly vybrány výsledky posledního typu experimentů, tj. výsledky, při kterých bylo dosaženo čtyř vozidel a celkový počet neproduktivně ujetých kilometrů činil 11,33 km denně.

Protože v průběhu zhodnocení bude zpravidla docházet také k výměně částí oběhů (některá z vozidel budou v důsledku snížení počtu vozidel potřebných ke svozu obsluhovat po období ranní špičky nově spoje jiné), je nutno promítnout i tyto změny do navrženého řešení. Tím, že vozidlo ukončí nově svůj oběh než v současném řešení, bude patrně docházet, ke zvyšování neproduktivně ujeté vzdálenosti, což není v modelu zahrnuto,

ale v závěrečném zhodnocení se musí projevit. Problém nejvhodnějších výměn částí oběhů bude řešen jako přiřadovací úloha, přičemž na pozicích prvků matice tvořené koeficienty účelové funkce se musí objevit délky v úvahu přicházejících neproduktivních přejezdů. V této souvislosti je nutno si uvědomit, že neproduktivní přejezd nevzniká pouze při přechodu mezi spoji uvnitř oběhu (ohraničující řešené období optimalizace), ale také po skončení oběhu z cílové konečné zastávky posledního obsluhovaného spoje do místa odstavení vozidla. Protože tato informace nebyla k dispozici, bude uvažováno, že se z cílové konečné zastávky posledního obsluhovaného spoje bude vozidlo přesouvat do výchozí konečné zastávky prvního spoje původního turnusu vozidla.

### **6.3.1 Změny ve vedení turnusů obsluhujících spoje zajišťující svoz**

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 146.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 8 linky č. 860241 (v modelu se jedná o spoj č. 1) a spoj č. 23 linky č. 860245 (v modelu se jedná o spoj č. 2), které zajišťovaly svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu nebudou uvedené spoje vozidlem tohoto turnusu obsluhovány. Nově jsou oba spoje a všechny další v původním turnusu obsluhovány vozidlem původního turnusu č. 165.2.

Vozidlo z turnusu 146.2 se po obsluze spoje č. 1 linky 860241 (s příjezdem na zastávku Mosty u Jablunkova, státní hranice v 7:00) nově neproduktivně přesouvá na zastávku Mosty u Jablunkova, obecní úřad, odkud začíná obsluhovat spoj č. 33 linky č. 860245 s odjezdem v 8:05 (původně obsluhován vozidlem turnusu č. 148.2) a dále pokračuje v obsluze spojů zařazených do turnusového příkazu č. 148.2. Po ukončení obsluhy posledního spoje turnusu č. 148.2 na zastávce Bukovec, Verner neproduktivně přejíždí na zastávku Písek, Kobielsz, přičemž neproduktivně projíždí úsek o délce 6,8 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 147.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 39 linky č. 860243 (v modelu se jedná o spoj č. 3), který zajišťoval svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu nebude uvedený spoj vozidlem tohoto turnusu obsluhován. Nově je obsluhován vozidlem turnusu č. 163.2. Obsluha všech dalších spojů bude prováděna turnusem č. 163.2 (počínaje spojem č. 18 linky č. 860244 s odjezdem ze zastávky Návší, železniční stanice).

Vozidlo turnusu č. 147.2 se po obsluze spoje č. 22 linky č. 860243 (s příjezdem na zastávku Bukovec, škola v čase 7:11) vykoná obsluhu spoje č. 49 linky č. 860243 s odjezdem ze zastávky Bukovec, škola v čase 7:50 a pokračuje obsluhou dalších spojů turnusu č. 160.2. Po ukončení obsluhy posledního spoje turnusu č. 160.2 na zastávce Bukovec, škola neproduktivně přejíždí na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště, přičemž neproduktivně projíždí úsek o délce 6,8 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 148.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 9 linky č. 860246 (v modelu se jedná o spoj č. 4) a spoj č. 28 linky č. 860245 (v modelu se jedná o spoj č. 5), které zajišťovaly svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu nebudou uvedené spoje vozidlem tohoto turnusu obsluhovány. Nově je spoj č. 9 linky č. 860246 obsluhován vozidlem turnusu č. 167.2 a spoj č. 28 linky č. 860245 obsluhován vozidlem turnusu č. 165.2. K obsluze všech dalších spojů původního turnusu (tj. počínaje spojem č. 33 linky č. 860245 s odjezdem ze zastávky Mosty u Jablunkova, obecní úřad) přijede vozidlo z turnusu 146.2.

Vozidlo z turnusu 148.2 se po obsluze spoje č. 6 linky 860212 (s příjezdem na zastávku Návsí, železniční stanice v 7:02) nově neproduktivně přesouvá na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště, odkud začíná obsluhovat spoj č. 19 linky č. 860247 s odjezdem v 8:20 (původně obsluhován vozidlem turnusu č. 165.2) a dále pokračuje v obsluze spojů zařazených do turnusového příkazu č. 165.2. Po ukončení obsluhy posledního spoje turnusu č. 165.2 na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště neproduktivně přejíždí na zastávku Bukovec, Verner, přičemž neproduktivně projíždí úsek o délce 10 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 151.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 44 linky č. 860243, který zajišťoval svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu nebude uvedený spoj vozidlem tohoto turnusu obsluhován. Nově je obsluhován vozidlem turnusu č. 155.2, které následně přebírá obsluhu všech zbývajících spojů, tj. spojů následujících po spoji č. 44 linky č. 860243. Z uvedeného důvodu přechází vozidlo původně obsluhující turnus č. 151.2 k obsluze spojů

turnusu č. 155.2, počínaje spojem č. 22 linky č. 860247 s odjezdem ze zastávky Třinec, autobusové stanoviště v čase 7:45. Vozidlo však nově neukončí svůj oběh na zastávce Návsí, železniční stanice v čase 11:35, ale na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 15:23., přičemž neproduktivně ujede 2 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 155.2*

Spoj č. 11 linky 860244 (v modelu se jedná o spoj č. 7) byl posunut v čase. Odjezd spoje číslo 11 z výchozí zastávky Dolní Lomná, Jestřábí potok je posunut z časové polohy 7:00 do časové polohy 6:55. Časové polohy spojů předcházejících posunovanému spoji nejsou dotčeny. Na základě výsledků optimalizačního výpočtu následuje obsluha spoje č. 44 linky č. 860243. Tím vozidlo přechází do turnusu č. 151.2 a může pokračovat v obsluze všech dalších spojů, které jsou v daném turnusu zařazeny. Vozidlo však nově neukončí svůj oběh na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 15:23, ale na zastávce Návsí, železniční stanice v čase 11:35, přičemž neproduktivně ujede 2 km.

Všechny spoje turnusu č. 155.2 tj. od spoje č. 22 linky č. 860237, bude nově obsluhovat vozidlo obsluhující v současnosti oběh č. 151.2.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 160.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 38 linky č. 860243 (v modelu se jedná o spoj č. 8), který zajišťoval svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu nebude uvedený spoj vozidlem tohoto turnusu obsluhován. Nově je obsluhován vozidlem turnusu č. 167.2. K obsluze všech dalších spojů původního turnusu (tj. počínaje spojem č. 49 linky č. 860243 s odjezdem ze zastávky Bukovec, škola) přijede vozidlo z turnusu č. 147.2.

Vozidlo z turnusu 160.2 po obsluze spoje č. 40 linky 860243 (s příjezdem na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 7:25) nově obslouží spoj č. 7 linky č. 860248, který končí na zastávce Jablunkov, Lísky, konečná v čase 7:24 (původně obsluhovaný turnusem 164.2) a následně se neproduktivně přesouvá na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště, odkud začíná obsluhovat spoj č. 12 linky č. 860240 s odjezdem v 8:30 (původně obsluhován vozidlem turnusu č. 164.2) a dále pokračuje v obsluze spojů zařazených do turnusového příkazu č. 164.2. Po ukončení obsluhy posledního spoje turnusu č. 164.2 na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště

neproduktivně přejíždí na zastávku Bukovec, škola, přičemž neproduktivně projíždí úsek o délce 10,3 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 162.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 10 linky č. 860240 (v modelu se jedná o spoj č. 9) a spoj č. 13 linky č. 860240 (v modelu se jedná o spoj č. 10), které zajišťovaly svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu nebudou uvedené spoje vozidlem tohoto turnusu obsluhovány. Nově jsou oba spoje obsluhovány vozidlem turnusu č. 167.2. K obsluze všech dalších spojů původního turnusu (tj. počínaje spojem č. 30 linky č. 860245 s odjezdem ze zastávky Návsí, železniční stanice v čase 8:00) přijede vozidlo z turnusu. č. 167.2.

Vozidlo z turnusu 162.2 se po obsluze spoje č. 11 linky 860245 (s příjezdem na zastávku Návsí, železniční stanice v čase 6:58) pokračuje ze zastávky Návsí, železniční stanice obsluhou spoje č. 46 linky č. 860243 s odjezdem v 8:00 (původně obsluhováno vozidlem turnusu č. 163.2) a dále pokračuje v obsluze spojů zařazených do turnusového příkazu č. 163.2. Po ukončení obsluhy posledního spoje turnusu č. 163.2 na zastávce Návsí, železniční stanice neproduktivně přejíždí na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště, přičemž neproduktivně projíždí úsek o délce 2 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 163.2*

Spoj č. 25 linky 860245 (v modelu se jedná o spoj č. 11) byl posunut v čase. Odjezd spoje číslo 25 z výchozí zastávky Mosty u Jablunkova, Šance, konečná je posunut z časové polohy 7:20 do časové polohy 7:19. Časové polohy spojů předcházejících posunovanému spoji nejsou dotčeny. Na základě výsledků optimalizačního výpočtu následuje po obsluze spoje č. 25 linky č. 860245 (nově příjezd do zastávky Návsí, železniční stanice 7:46) obsluha spoje č. 126 linky č. 860243 (nově odjezd ze zastávky Návsí, železniční stanice v 7:46 a příjezd do zastávky Bukovec, hranice v 8:05) a pokračuje v obsluze spoje č. 148 linky 860243 (nově odjezd ze zastávky Bukovec, hranice v 8:05 a příjezd do zastávky Bukovec, škola v 8:14). Po obsluze spojů č. 126 a č. 148 vozidlo dále přechází do turnusu číslo 147.2 za účelem obsluhy spoje č. 39 linky č. 860243 (nově odjezd ze zastávky Bukovec, škola v 8:21 a příjezd do zastávky Návsí,

železniční stanice v 8:45). Po ukončení obsluhy může pokračovat v obsluze všech dalších spojů, které jsou zařazeny v původním turnusu č. 147.2 počínaje spojem č. 18 linky č. 860244. Přechodem do nového turnusu však vozidlo nově neukončí svůj oběh na zastávce Návsí, železniční stanice v čase 12:51, ale na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 10:23, přičemž neproduktivně projíždí úsek o délce 2 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 164.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 9 linky č. 860242 (v modelu se jedná o spoj č. 12) a spoj č. 7 linky č. 860248 (v modelu se jedná o spoj č. 13), které zajišťovaly svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu nebudou uvedené spoje vozidlem tohoto turnusu obsluhovány. Nově je spoj č. 9 linky č. 860242 obsluhován vozidlem turnusu č. 167.2 a spoj č. 7 linky č. 860248 obsluhován vozidlem turnusu č. 165.2. Obsluhu všech dalších spojů původního turnusu (tj. počínaje spojem č. 12 linky č. 860240 s odjezdem ze zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 8:30) provede vozidlo turnusu č. 160.2.

Vozidlo z turnusu 164.2 se po obsluze spoje č. 6 linky 860242 (s příjezdem na zastávku Radvanov, konečná v čase 7:06) nově neproduktivně přesouvá na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště, kde svou jízdu ukončí, přitom neproduktivně projíždí úsek o délce 2,2 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 165.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 14 linky č. 860247 (v modelu se jedná o spoj č. 14), který zajišťoval svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu zůstává uvedený spoj vozidlem tohoto turnusu obsluhován. Následně bude vozidlo nově obsluhovat spoj č. 7 linky č. 860248 (v modelu označený č. 13 původně obsluhován vozidlem turnusu č. 164.2), spoj č. 28 linky č. 860245 (v modelu označený č. 5 původně obsluhován vozidlem turnusu č. 148.2) a spoje č. 8 linky č. 860241 a č. 23 linky č. 860245 (v modelu označené č. 1 a 2 původně obsluhované vozidlem turnusu č. 146.2). Obsluhu všech dalších spojů původního turnusu (tj. počínaje spojem č. 19 linky č. 860247 s odjezdem ze zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště) provede vozidlo turnusu č. 148.2, které se po ukončení obsluhy posledního spoje původního turnusu 165.2 přesune

ze zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště do zastávky Bukovec, Verner, kde svou jízdu v původním turnusu končilo. Uvedenými dvěma přesuny se zvýší neproduktivně ujetá vzdálenost o 10 km.

Změny v jízdě vozidla z turnusu 165.2 pokračují po obsluze spoje č. 23 linky 860245 (s příjezdem na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště v 8:30). Vozidlo přechází k obsluze spojů původního turnusu 146.2, přičemž prvním obsluhovaným spojem je spoj č. 43 linky č. 860243. Ten měl původní čas odjezdu ze zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště v 7:45, jeho odjezd tedy musí být posunut do časové polohy 8:32. Po obsluze posledního spoje z původního turnusu 146.2 se vozidlo ze zastávky Písek, Kobielsz (s příjezdem v 16:14) přesune do cílové zastávky svého původního oběhu, kterou je Jablunkov, autobusové stanoviště. Neproduktivně ujetá vzdálenost se díky naplánovaným přejezdům zvyšuje o 11,4 km.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 166.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 126 linky č. 860243 (v modelu se jedná o spoj č. 15), spoj č. 148 linky č. 860245 (v modelu se jedná o spoj č. 16) a spoj č. 45 linky č. 860243 (v modelu se jedná o spoj č. 17), které zajišťovaly svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu nebudou uvedené spoje vozidlem tohoto turnusu obsluhovány. Po obsluze spoje č. 23 linky č. 860243 s příjezdem do zastávky Návsí, železniční stanice v 6:40 následuje obsluha spoje č. 22 linky č. 860244 s odjezdem v 10:05 ze zastávky Návsí, železniční stanice. Oba spoje se nacházejí ve stejném oběhu, tj. vozidlo není nuceno přecházet do jiného oběhu. Vozidlo nebude přejíždět mezi zastávkami, proto nevznikne žádná neproduktivně ujetá vzdálenost.

K obsluze spoje č. 126 linky č. 860243 a spoje č. 148 linky č. 860245 přijede vozidlo turnusu č. 163.2 a obsluhu spoje č. 45 linky č. 860243 provede vozidlo turnusu č. 167.2.

#### *Turnusový příkaz řidiče číslo 167.2*

V původním turnusu byl zařazen spoj č. 35 linky č. 860243 (v modelu se jedná o spoj č. 18), který zajišťoval svoz. Na základě výsledku optimalizačního výpočtu zůstává uvedený spoj vozidlem tohoto turnusu obsluhován. Následně bude vozidlo nově

obsluhovat spoj č. 9 linky č. 860242 (v modelu se jedná o spoj č. 12 původně obsluhovaný vozidlem turnusu č. 164.2), spoj č. 9 linky č. 860246 (v modelu se jedná o spoj č. 4 původně obsluhovaný vozidlem turnusu č. 148.2), spoj č. 38 linky č. 860243 (v modelu se jedná o spoj č. 8 původně obsluhovaný vozidlem turnusu č. 160.2), spoj č. 45 linky č. 860243 (v modelu se jedná o spoj č. 17 původně obsluhovaný vozidlem turnusu č. 166.2) a spoje č. 10 linky č. 860240 a č. 13 linky č. 860240 (v modelu se jedná o spoje č. 10 a 13 původně obsluhované vozidlem turnusu č. 162.2).

Počínaje spojem č. 30 linky č. 860245 pokračuje v obsluze všech spojů podle turnusu č. 162.2. Po obsluze posledního spoje tohoto turnusu ukončí svou jízdu na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště (jde o totéž místo, kde končí původní oběh). Neproduktivně ujetá vzdálenost se při takto naplánovaném oběhu nezvyšuje.

### **6.3.2 Přehled úprav časového vedení spojů v návaznosti na přechody vozidel mezi turnusy**

Jak již bylo deklarováno v úvodu podkapitoly 6. 3, byly k hodnocení vybrány výsledky posledního experimentu (4 vozidla a neproduktivně ujetá vzdálenost 11,33 km denně). U tohoto experimentu byly provedeny změny v současných turnusech řidičů.

Při navrhování změn byl použit matematický model přiřadovacího problému. Optimalizačním kritériem uvedeného modelu je počet kilometrů neproduktivně ujetých nad rámec neproduktivně ujeté vzdálenosti zohledněné v modelu, přičemž je snaha toto kritérium minimalizovat.

Při navrhování úprav v současných turnusech u vozidel, která v navrženém řešení nebudou provádět svoz, byla optimalizačním kritériem (při řešení přiřadovacího problému) celková neproduktivně ujetá vzdálenost vyplývající z navržených změn. Nebylo však zohledňováno časové hledisko. Z uvedeného důvodu bylo při závěrečném vyhodnocování dopadů optimalizace zjištěno, že při minimalizaci neproduktivně ujeté vzdálenosti mezi spoji nezajišťujícími svoz, došlo k jevu, že naplánovaný přejezd není vyhovující z časového hlediska. Výskyt uvedeného jevu se dá očekávat, protože, není-li uvedené omezení v modelu přiřadovacího problému zahrnuto, nebude řešící algoritmus při optimalizaci k jeho dodržení přihlížet.



První možností, jak daný problém odstranit, je zapracovat časové hledisko do matematického modelu, konkrétně, protože se jedná o minimalizační problém, zařazením prohibitivní konstanty na pozici prvku matice koeficientů účelové funkce odpovídajícímu přejezdu nereálnému z časového hlediska. Výhodou prvního přístupu je zachování současných časových poloh spojů nezajišťujících svoz žáků po řešeném období. Nevýhodou je možné zvýšení neproduktivně ujeté vzdálenosti při přejezdech nad rámec nezbytného minima. Charakteristickým rysem prvního přístupu tedy je, že zohledňuje časové hledisko při minimalizaci neproduktivně ujeté vzdálenosti.

Druhou možností, jak problém s časovou nepřipustností odstranit, je minimalizovat v matematickém modelu počet neproduktivně ujetých kilometrů bez ohledu na časovou připustnost přesunu a dojde-li k návrhu přesunu, který není časově připustný, posunout spoje tak, aby se časově nepřipustný přesun stal připustným. Výhodou druhého přístupu je minimalizace neproduktivně ujeté vzdálenosti při přejezdech na nezbytně nutnou míru. Nevýhodou je, že nebudou zachovány současné časové polohy spojů nezajišťujících svoz žáků po řešeném období. Charakteristickým rysem druhého přístupu tedy je, že zohledňuje pouze počet neproduktivně ujetých kilometrů bez ohledu na aktuální polohy spojů, které bude vozidlo dále obsluhovat. Z toho plyne, že spoje nezajišťující svoz žáků mohou být vhodně posunuty v čase tak, aby přejezd začal být z časového hlediska připustný.

Je na zvážení řešitele, ke kterému přístupu se přikloní. Velice úzce tato skutečnost souvisí s požadavky objednatele optimalizace. Při zpracování zadaného tématu byl zvolen druhý přístup. Po vyřešení dílčího optimalizačního výpočtu minimalizujícího součet neproduktivně ujeté vzdálenosti bez přihlédnutí k časové připustnosti přesunů vznikl časově nepřipustný přesun ve čtyřech případech. V následujícím textu budou navrženy potřebné změny v časových polohách spojů. V zájmu co nejmenší změny současné polohy budou v následujících případech realizovány nezbytně nutné přesuny.

Vozidlo obsluhující turnus č. 160.2 končí obsluhu tohoto turnusu na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 7:25 a dále je naplánována obsluha spojů turnusu č. 164.2, počínaje spojem č. 28 linky č. 860248 odjíždějícím ze zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 7:15. Začátek obsluhy spoje č. 28 linky č. 860248 turnusu č. 164.2 musí být posunut do časové polohy 7:25. Následuje zpětný přesun na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště, kde je stanoven příjezd v 7:34. Protože obsluha dalšího

spoje začíná až v 8:30 (spoj č. 12 linky č. 860240), nutný časový posun se dále nepřenáší. Optimalizace se tedy projeví tak, že vyvolá velikost druhotných časových posunů ve výši 10 min.

Vozidlo obsluhující turnus č. 163.2 končí obsluhu tohoto turnusu na zastávce Návsí, železniční stanice v čase 8:45 a dále je naplánována obsluha spojů turnusu č. 147.2 počínaje spojem č. 18 linky č. 860244 odjíždějícím ze zastávky Návsí, železniční stanice v čase 8:20. Začátek obsluhy spoje č. 18 linky č. 860244 turnusu č. 147.2 musí být posunut do časové polohy 8:45 s příjezdem do zastávky Horní Lomná, Horní Přelač v čase 9:21. Protože obsluha dalšího spoje začíná už v 9:20 (spoj č. 51 linky č. 860244), je nutno provést časový posun o velikosti 1 min. Optimalizace se tedy projeví tak, že vyvolá velikost druhotných časových posunů ve výši 26 min.

Vozidlo obsluhující turnus č. 165.2 končí obsluhu tohoto turnusu na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 8:45 a dále je naplánována obsluha spojů turnusu č. 146.2 počínaje spojem č. 43 linky č. 860243 odjíždějícím ze zastávky Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 7:45. Začátek obsluhy spoje č. 43 linky č. 860243 turnusu č. 146.2 musí být posunut do časové polohy 8:45. Po obsluze spoje následuje přejezd na zastávku Třinec BUS, kde řidič vykoná administrativní práci a denní prohlídku vozidla. Protože obsluha dalšího spoje začíná až v 9:30 (spoj č. 5 linky č. 860235), nutný časový posun se dále nepřenáší. Optimalizace se tedy projeví tak, že vyvolá velikost druhotných časových posunů ve výši 60 min.

Vozidlo obsluhující turnus č. 167.2 končí obsluhu tohoto turnusu na zastávce Jablunkov, autobusové stanoviště v čase 8:45 a dále je naplánována obsluha spojů turnusu č. 162.2 počínaje spojem č. 30 linky č. 860245 odjíždějícím ze zastávky Návsí, železniční stanice v čase 8:00. Doba přesunu mezi zastávkami Jablunkov, autobusové stanoviště a Návsí, železniční stanice je 3 min. Začátek obsluhy spoje č. 30 linky č. 860245 turnusu č. 162.2 musí být posunut do časové polohy 8:48. Protože obsluha dalšího spoje č. 41 linky č. 860245 začíná v čase 8:30, musí být tento spoj posunut do časové polohy 9:15. Následuje přejezd vozidla na zastávku Jablunkov, autobusové stanoviště, kde řidič vykoná bezpečnostní přestávku. Protože obsluha dalšího spoje začíná až v 10:55 (spoj č. 73 linky č. 860243), nutný časový posun se dále nepřenáší. Optimalizace se tedy projeví tak, že vyvolá velikost druhotných časových posunů ve výši 93 min.

Výsledkem matematického modelu přiřadovacího problému došlo k záměně částí oběhů, tudíž se navýšil počet neproduktivně ujetých kilometrů o 66 km denně. U uvedeného modelu je nevýhodou, že nebere ohled na časové přesuny vozidel mezi spoji, proto bylo zapotřebí realizovat nezbytně nutné přesuny. Při této realizaci se velikost časových posunů navýšila o 189 min.

## 7 Závěr

Předložená diplomová práce se zabývá problematikou optimalizace svozu žáků do škol. Je složena z analytické, návrhové a hodnotící části. K řešení problému je využíváno metod lineárního programování, funkčnost navržených modelů je testována v rámci výpočetních experimentů.

V úvodních částech práce bylo deklarováno, že kritickým obdobím z pohledu nerovnoměrnosti je ranní přepravní špička. V předložené práci bylo ukázáno, že počet vozidel, který je zapotřebí použít ke splnění požadavků na svoz žáků do škol lze snížit tím, že se tyto požadavky rovnoměrněji rozloží v čase. To samozřejmě potvrzuje známý fakt, který říká, že rozložením požadavků do delšího časového období dojde ke snížení maximální hodnoty intenzity cestujících v období dané špičky. Je samozřejmě otázkou, do jaké míry rozložení požadavků na svoz žáků do škol přispěje ke snížení celkového počtu vozidel, které musí dopravce v daném období používat. Dá se říci, že k tomu může dojít v situacích, kdy přepravní špička vznikající v důsledku svozu žáků je právě tou nejkritičtější částí ranní přepravní špičky. Pokud tak tomu je, potom snížení počtu vozidel potřebných ke svozu může přinést úsporu i v celkovém počtu vozidel. Pokud tomu tak však není, tzn., že nejkritičtějším obdobím ranní přepravní špičky je např. období svozu obyvatelstva do zaměstnání předcházející období svozu žáků do škol, nelze očekávat snížení celkové potřeby vozidel. Nicméně i takováto řešení, ve kterých nedochází ke snížení celkového počtu vozidel potřebných ke svozu, jsou praxí požadována, jak plyne ze zadání předložené diplomové práce.

## Seznam použité literatury

- [1] Černý, J.; Kluvánek, P.: Základy matematickej teórie dopravy. Bratislava: VEDA, 1990. 279 s. ISBN 80 – 224 – 0099 – 8.
- [2] Surovec, P.: Technológia hromadnej osobnej dopravy – cestná a mestská doprava. ŽU v Žilině, 1998. 157 s. ISBN 80 – 7100 – 494 – 4.
- [3] Surovec, P.: Tvorba systému mestskej hromadnej dopravy. Žilina: ŽU v Žilině, 1999. 143 s. ISBN 80 -7100 -586 – X
- [4] Jízdní řády autobusových linek společností VEOLIA Transport Morava, 2009–2010.
- [5] Turnusové příkazy pro řidiče. VEOLIA Transport Morava a.s.
- [6] <http://jizdnirady.idnes.cz/>
- [7] Teichmann, D.; Frič, J.: O jednom přístupu k minimalizaci počtu vozidel pro ranní svoz žáků do škol [online]. Univerzita Pardubice, 2011, ročník 6. Dostupné z www:< [http://perverscontacs.upce.cz/21\\_2011/Teichmann.pdf](http://perverscontacs.upce.cz/21_2011/Teichmann.pdf)>.
- [8] <http://www.mapy.cz/>

## Seznam příloh

Příloha 1 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	146.2
Příloha 2 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	147.2
Příloha 3 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	148.2
Příloha 4 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	151.2
Příloha 5 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	155.2
Příloha 6 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	160.2
Příloha 7 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	162.2
Příloha 8 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	163.2
Příloha 9 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	164.2
Příloha 10 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	165.2
Příloha 11 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	166.2
Příloha 12 -	Stávající turnusový příkaz řidiče číslo	167.2